


BIBLIOTECA NAZIONALE VITT. EMANUELE
201
42 C
19

10 8

11 / 36-85-98

150-185-216-44

ŒUVRES

DE

FRANÇOIS ARAGO

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PUBLIÉES D'APRÈS SON ORDRE

SOUS LA DIRECTION DE M. J.-A. BARRAL

MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

TOME PREMIER

POLARISATION COLORÉE
COULEURS DES LAMES MINCES
PUISSANCES RÉFRACTIVES ET DISPERSIVES
INTERFÉRENCES. — PHOTOMÉTRIE
INDICES DE RÉFRACTION

PARIS | LEIPZIG
GIDE, ÉDITEUR | T. O. WEIGEL, ÉDITEUR
5 rue Bonaparte | Königs-Strasse

1858

ŒUVRES COMPLÈTES

DE

FRANÇOIS ARAGO

TOME DIXIÈME

La propriété littéraire des divers ouvrages de François Arago étant soumise à des délais légaux différents, selon qu'ils sont ou non des œuvres posthumes, l'éditeur a publié chaque ouvrage séparément. Ce titre collectif n'est donné ici que pour indiquer au relieur le meilleur classement à adopter.

Par la même raison, la réserve du droit de traduction est faite au titre et au verso du faux titre de chaque ouvrage séparé.

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7

ŒUVRES COMPLÈTES

DE

FRANÇOIS ARAGO

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PUBLIÉES

D'APRÈS SON ORDRE SOUS LA DIRECTION

DE

M. J.-A. BARRAL

Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Répétiteur
dans cet Établissement

TOME DIXIÈME

PARIS	LEIPZIG
GIDE, ÉDITEUR	T. O. WEIGEL, ÉDITEUR
5 rue Bonaparte	Kōnigs-Strasse

1858

MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

TOME PREMIER

PARIS — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7

ŒUVRES

DE

FRANÇOIS ARAGO

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PUBLIÉES

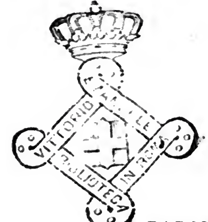
D'APRÈS SON ORDRE SOUS LA DIRECTION

DE

M. J.-A. BARRAL

MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

TOME PREMIER



PARIS
GIDE, ÉDITEUR
5 rue Bonaparte

LEIPZIG
T. O. WEIGEL, ÉDITEUR
Königs-Strasse

1858

MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

MÉMOIRE

SUR

LES COULEURS DES LAMES MINCES

LU LE 18 FÉVRIER 1811
A LA CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES DE L'INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE,
INSÉRÉ EN 1817 DANS LES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ D'ARCUEIL [1]

Les lames minces de tous les corps de la nature, lorsqu'elles ont un degré suffisant de ténuité, présentent, soit par réflexion, soit à l'aide de la lumière transmise, des couleurs très-vives et de toutes sortes de nuances. Les physiciens se sont beaucoup occupés de l'étude des lois suivant lesquelles naissent ces couleurs, et sont parvenus à plusieurs résultats importants; quant à la cause qui les produit, elle est toujours enveloppée d'une grande obscurité.

Dans ce Mémoire je me suis spécialement proposé de rapporter quelques observations nouvelles qui peut-être

1. Voir sur ce Mémoire une Notice insérée au tome VII des *OEuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*, p. 411 à 413.

contribueront un jour à faire découvrir la cause de ce phénomène curieux, et qui dès ce moment pourraient servir, au besoin, à montrer que la plupart des nombreuses explications qu'on en a données sont inexactes ou insuffisantes. J'ai cru ne pas devoir m'interdire ces discussions purement théoriques lorsqu'elles étaient les conséquences immédiates du sujet. J'espère, dans tous les cas, qu'on me les pardonnera si l'on songe que les couleurs de lames minces ont été, à cause des circonstances singulières sous lesquelles elles se présentent, la pierre de touche d'après laquelle on a ordinairement jugé les théories de la lumière; que Newton a consacré à leur examen un livre entier de son *Optique* et s'en est ensuite servi pour expliquer les couleurs naturelles des corps, et qu'enfin, indépendamment de toute application, elles méritent d'autant plus d'être étudiées sous tous les aspects possibles, qu'elles paraissent tenir de très-près au mode particulier d'action que les corps exercent sur les molécules lumineuses.

Les couleurs des lames minces s'aperçoivent dans un trop grand nombre de circonstances différentes pour qu'on puisse supposer que les anciens n'en aient pas eu connaissance. Boyle est cependant, si je ne me trompe, le premier physicien dont les ouvrages renferment quelques notions circonstanciées de ce phénomène. Dans un excellent Mémoire intitulé : *Experiments and observations upon colours*, imprimé pour la première fois en 1663, et qui est en tête du second volume de l'édition de Shaw, Boyle discute avec une rare sagacité quelques-unes des théories qui régnaient alors dans les écoles; et à cette

occasion, pour prouver aux chimistes, ses contemporains, qu'il est possible de faire acquérir une très-grande variété de teintes aux mêmes corps, sans changer leurs principes constituants, il cite les bulles qu'on forme, à l'aide d'un chalumeau, avec toutes les huiles essentielles, l'esprit-de-vin rectifié, l'eau de savon, etc., et dit avoir rencontré quelquefois des bulles de verre sur lesquelles on apercevait de même un grand nombre de couleurs différentes, parce qu'en les soufflant on les avait rendues extrêmement minces.

Parmi les expériences de Boyle qui se rapportent à ce phénomène nous pouvons citer encore celles qu'il fit sur les couleurs de l'acier recuit à différents degrés et surtout l'observation curieuse que l'or, réduit en feuilles très-minces, devient diaphane, continue d'être jaune par réflexion, mais est verdâtre à l'aide de la lumière transmise.

Hooke a consacré un chapitre entier de sa *Micrographia* à la description des couleurs qu'on aperçoit sur les corps minces en général, et spécialement de celles que présentent certaines parties des lames de mica. En s'aidant d'un microscope, il reconnut que ces couleurs sont disposées en anneaux concentriques dont la forme, plus ou moins régulière, semble dépendre de celle que présente la tache centrale. Cet auteur fit encore les observations importantes qui suivent :

1° Que les couleurs des divers anneaux se succèdent dans le même ordre que dans le second arc-en-ciel, en sorte qu'en partant de la tache du milieu, et en s'en éloignant, cet ordre serait le suivant : bleu, pourpre,

écarlate, jaune, vert..... bleu, pourpre, écarlate, et ainsi de suite;

2° Que cet ordre est toujours le même, quelle que soit la couleur de la tache centrale; en sorte que si elle est bleue, le premier anneau sera pourpre, le second rouge, et ainsi de suite; tandis que si le centre était rouge, on le verrait entouré d'un anneau jaune, auquel succéderait immédiatement un anneau vert, etc.;

3° Que les anneaux d'une couleur déterminée ont d'autant plus de largeur qu'ils sont plus près de la tache centrale;

4° Qu'ils changent de place lorsque la lame est pressée avec les doigts d'un côté ou de l'autre;

5° Enfin, qu'on aperçoit encore des couleurs lorsqu'on introduit un fluide diaphane quelconque entre deux feuillets contigus d'une lame de mica.

Après avoir exposé ces résultats, Hooke observe de plus qu'on peut former artificiellement des anneaux entièrement semblables à ceux qu'on aperçoit sur les lames de talc de Moscovie, et que pour cela il suffit de superposer deux verres de lunettes bien nettoyés; il ajoute qu'un fluide transparent quelconque, interposé entre les deux lentilles, produit le même effet que l'air, avec cette différence cependant, que les couleurs ont d'autant plus de vivacité que les qualités réfractives des milieux comprimants et du milieu comprimé sont plus inégales.

On voit par l'extrait succinct que je viens de donner des expériences de Hooke, que ce physicien avait non-seulement reconnu que les lames minces de tous les corps sont irisées, mais qu'il avait aussi aperçu quelques-

unes des circonstances singulières dont Newton s'est ensuite si habilement servi dans la belle analyse qu'il a donnée de ce phénomène. Avant de passer aux expériences de ce grand géomètre, je dois cependant faire remarquer encore que Hooke avait démontré, par des observations microscopiques, que lorsque des lames de mica très-minces présentent la même nuance dans une assez grande étendue, elles ont partout la même épaisseur ; qu'en superposant deux de ces lames diversement colorées, la plaque composée a une teinte qui diffère de celle de chacun de ses deux éléments, et enfin que les couleurs ne se montrent qu'entre deux limites d'épaisseur déterminées et variables avec la nature du corps, en sorte qu'une lame de mica trop mince présente tout aussi peu de couleur que celle dont l'épaisseur est trop considérable.

L'ouvrage de Hooke dans lequel ces résultats sont consignés a été imprimé à Londres en 1665, c'est-à-dire environ six ans avant la publication des premières expériences de Newton. On y trouve encore une explication des couleurs des lames minces qui a quelque analogie avec celle que M. Thomas Young a donnée du même phénomène, dans plusieurs Mémoires très-intéressants qui sont insérés dans les derniers volumes des *Transactions philosophiques*, et sur lesquels j'aurai occasion de revenir dans la suite de cet écrit.

Les expériences de Hooke montraient uniquement, comme nous venons de le voir, que des lames d'épaisseurs diverses donnent différentes couleurs. Newton a ajouté à ce résultat que la même teinte se reproduit

sur les lames d'une substance quelconque lorsque leurs épaisseurs se suivent comme la série des nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc. Ce grand physicien a même déterminé, par des expériences directes faites avec des objectifs de longs foyers, à quelles épaisseurs d'une lame d'air se produisent, pour la première fois, les diverses couleurs prismatiques. En introduisant un liquide entre deux lentilles, il reconnut, comme Hooke, que les teintes s'affaiblissent; mais il ajouta la circonstance curieuse que les anneaux se resserrent, en sorte que l'épaisseur qu'il faut donner à un corps, pour lui faire acquérir une couleur déterminée, est d'autant moindre que la puissance réfringente de ce corps est plus considérable. La nature des milieux entre lesquels la lame était comprise paraissait d'ailleurs n'avoir aucune influence sur l'espèce particulière de couleur qu'elle réfléchissait, etc.

Le désordre que présentent les anneaux dans la succession de leurs teintes, à de certaines distances du centre, semblait très-difficile à expliquer; en n'éclairant les objectifs qu'avec de la lumière homogène, Newton reconnut que ce désordre apparent est produit par la superposition partielle des orbites de plusieurs anneaux diversement colorés, et tira de cette observation plusieurs conséquences importantes. Je ne m'arrêterai point à en faire l'énumération; mon objet, dans cette introduction historique, est uniquement d'indiquer parmi les expériences de Newton et des physiciens qui l'ont suivi, celles qui ont quelque rapport avec les phénomènes que j'ai aperçus.

Mariotte s'est aussi occupé des couleurs des lames

minces, mais, à ce qu'il paraît, dans la vue de montrer qu'elles dépendent de la réfraction que la lumière devait éprouver dans les rides dont il supposait la lame recouverte : dans son hypothèse, l'épaisseur du corps avait bien quelque influence sur la production des teintes; mais un certain degré de convergence entre la première et la deuxième surface lui paraissait être l'élément principal d'où dépendait la nature des couleurs réfléchies ; il prétend même s'être assuré que des lames de verre, quelle que soit leur ténuité, ne présentent point de couleurs, si leurs surfaces sont parallèles; mais les observations dont il appuie cette opinion semblent inexactes ou insuffisantes. Parmi ces dernières, il en est une qui me paraît cependant mériter quelque attention : je veux parler de l'observation relative aux anneaux qui se forment entre deux verres plans. Mariotte s'est assuré en effet que, dans ce cas, la simple superposition des verres accompagnée d'une pression considérable ne suffit pas, comme lorsqu'on emploie des lentilles, pour faire naître des couleurs, et qu'il faut indispensablement que ces verres soient frottés l'un sur l'autre; mais, si par ce mouvement, longtemps continué, on a obtenu une première fois cet effet, les mêmes verres détachés donnent toujours ensuite des anneaux, sans qu'il soit nécessaire de les frotter de nouveau, pourvu toutefois que les surfaces en contact n'aient pas été essuyées [1].

1. Le *Traité de la lumière et des couleurs* dans lequel cette expérience est consignée a été imprimé, après la mort de Mariotte, dans ses œuvres complètes. On doit être étonné qu'un physicien aussi habile ait refusé son assentiment à la théorie de l'inégale

Cette expérience de Mariotte a été reproduite depuis par l'abbé Mazéas, qui probablement n'en avait pas connaissance, dans un Mémoire qui d'abord fut imprimé dans le Recueil de l'académie de Berlin, année 1774, et ensuite avec quelques additions dans le xe volume des *Savants étrangers*.

Le tome suivant du même recueil renferme des recherches de M. Dutour, spécialement relatives aux expériences de Mazéas, et quelques observations qui lui appartiennent. Au lieu d'exposer ses deux verres superposés à l'air libre, cet auteur eut l'idée de ne les éclairer qu'avec un mince filet de lumière qui les rencontrait sous une inclinaison déterminée par la position qu'on donnait, dans

réfrangibilité des rayons diversement colorés, et surtout qu'il ait imaginé la détruire par une épreuve dont l'imperfection est évidente; mais au reste, sous d'autres rapports, cet ouvrage est loin de mériter l'oubli dans lequel il paraît être resté. A la page 288, par exemple, on trouve un des résultats les plus curieux de la physique moderne et dont on fait ordinairement honneur à Scheele: je veux parler de la singulière distinction qu'il faut établir entre le calorique qui émane des corps terrestres et celui qui accompagne la lumière solaire. Mariotte montre en effet, par une expérience très-simple, que le premier est presque entièrement absorbé en traversant un verre diaphane, tandis que le second n'éprouve, dans les mêmes circonstances, qu'une diminution très-petite et proportionnelle à la quantité de lumière qui est réfléchie par les faces d'entrée et de sortie.

Le même ouvrage renferme l'explication la plus naturelle qu'on ait encore donnée de ces larges couronnes qui, dans certaines circonstances, entourent le Soleil et la Lune, et la première description que j'aie rencontrée des arcs secondaires de diverses nuances qui accompagnent l'arc-en-ciel intérieur. Les Mémoires de Langwith et de Pemberton, qui sont seuls cités à cette occasion dans les ouvrages d'optique, n'ont paru que quarante ans après celui de Mariotte.

chaque expérience, au tuyau étroit au travers duquel la lumière passait. Avec cet appareil, lorsque l'œil était convenablement placé, on apercevait une première image colorée, réfléchie par la lame d'air intermédiaire, et une image de teinte complémentaire réfléchie par la seconde surface du verre inférieur. Ces deux images étaient d'ailleurs d'autant plus séparées l'une de l'autre, que ce miroir inférieur avait une épaisseur plus considérable; mais sous toutes les inclinaisons elles étaient l'une et l'autre visibles.

La deuxième image correspond aux anneaux qu'on voit par transmission, avec cette particularité cependant que, dans l'expérience que je viens de décrire, la lumière de ces derniers anneaux traverse deux fois la lame d'air.

Dans un Mémoire inséré en 1807 dans les *Transactions philosophiques*, Herschel a montré qu'en promenant l'ombre d'un corps opaque sur la surface de la lentille supérieure, on aperçoit, même en plein air, si l'œil est convenablement placé, une, deux, ou même trois images des anneaux transmis. Ces images, comme dans l'expérience de Dutour, proviennent, savoir : la première, de la lumière réfléchie par la seconde surface du verre inférieur; la seconde, de la portion de cette lumière qui, rejetée de la première à la dernière surface, revient à l'œil à travers tout l'appareil, et ainsi de suite.

Lorsque les anneaux se forment, comme dans les expériences de Newton, entre deux lentilles de verre, la portion de lumière complémentaire des rayons colorés qui se réfléchissent passe à travers le verre inférieur, et donne naissance aux anneaux qu'on aperçoit par transmission. Herschel a reconnu qu'il se produit également

des anneaux si l'on place une lentille de verre sur un miroir métallique bien poli, et remarqué que la lumière colorée qui traversait le miroir inférieur lorsque celui-ci était diaphane, doit être absorbée en très-grande partie par le métal. J'indiquerai plus loin le parti que j'ai tiré de cette nouvelle manière de produire des anneaux, qui du reste était déjà décrite dans un recueil de Mémoires d'optique imprimés à Paris en 1788. Je réserve de même l'énumération des théories plus ou moins singulières que ce phénomène a fait naître, pour les soumettre plus tard à une discussion détaillée.

Les expériences qui font l'objet de ce Mémoire étant pour la plupart relatives au phénomène de la polarisation de la lumière, j'ai pensé qu'avant de les rapporter il serait convenable, à cause de la nouveauté de la matière, de rappeler succinctement la signification des termes dont j'aurai l'occasion de me servir.

Un rayon de lumière se divise, comme on sait, en deux faisceaux de même intensité lorsqu'il traverse un de ces cristaux diaphanes que, par cette raison, on dit doués de la double réfraction. Une circonstance de ce phénomène, tout aussi singulière que la bifurcation du faisceau incident, c'est que les deux faisceaux émergents ont l'un et l'autre des propriétés qui les distinguent de la lumière ordinaire; celle-ci, comme nous venons de le dire, donne toujours deux faisceaux également vifs, quelle que soit la position du cristal qu'elle traverse, tandis que les intensités comparatives des images que fournit un des rayons émergents dépendent de la situation du nouveau cristal au travers duquel on le fait passer. Le rayon ordinaire,

par exemple, en passant d'un rhomboïde de carbonate de chaux dans un cristal semblable, ne fournit qu'un rayon ordinaire si les sections principales sont parallèles, et qu'un rayon extraordinaire si ces sections sont à angle droit; en sorte que, pour ces positions et relativement à cette espèce de rayon, le second cristal ne semble pas avoir la double réfraction. Si les sections principales des deux cristaux superposés font entre elles un angle de 45°, le rayon ordinaire sortant du premier se partagera dans le second en deux images de même intensité. Dans toute autre situation des cristaux on obtiendra aussi deux images, mais leurs intensités seront différentes. Le rayon extraordinaire présenterait des phénomènes analogues.

On voit, par ce que nous venons de dire, que le rayon ordinaire provenant, par exemple, d'un rhomboïde de carbonate de chaux, se réfracte ordinairement ou extraordinairement en traversant un second cristal, suivant que le plan de la section principale se présente à lui par tel ou tel autre côté. Ces côtés du rayon sont par conséquent doués de propriétés différentes; on les a désignés par le nom de *pôles*. La lumière se polarise non-seulement dans l'acte de la double réfraction, mais encore dans d'autres circonstances très-remarquables que Malus a découvertes. Du reste, pour distinguer un rayon doué de pôles, de quelque manière qu'il les ait acquis, d'un rayon ordinaire, il suffira de les examiner l'un et l'autre à l'aide d'un cristal de carbonate de chaux: celui qui, dans quelques positions particulières du cristal, ne donnera qu'un seul faisceau, s'appellera *rayon complétement polarisé;* le rayon ordinaire fournira constamment deux images de même force.

Quant à ces rayons qui semblent formés d'une portion de lumière entièrement polarisée, et d'une autre portion de lumière directe, on les appellera *rayons partiellement polarisés;* leurs propriétés sont, pour ainsi dire, intermédiaires entre celles dont jouissent les deux premières classes : comme les rayons ordinaires, ils fournissent toujours deux images en traversant un rhomboïde de carbonate de chaux; et, comme pour les rayons complétement polarisés, les intensités des deux faisceaux varient avec la position de la section principale du cristal.

Je passe maintenant aux observations qui me sont propres.

Supposons qu'on examine la série d'anneaux colorés qui entourent le point de contact de deux lentilles de verre superposées, à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux dont la section principale soit perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion [1], les deux images des anneaux auront la même intensité dans l'incidence perpendiculaire; si l'inclinaison diminue, l'une d'elles s'affaiblira graduellement, finira même par disparaître entièrement sous l'angle de 35° environ, se montrera de nouveau dans les incidences plus obliques, et avec une intensité d'autant plus considérable que l'angle que forment les rayons avec la surface de séparation des deux lentilles sera plus aigu. On voit, en un mot, que les portions de lumière colorée qui concourent à la formation

1. On appelle ainsi le plan dans lequel la réflexion s'effectue, ou, en d'autres termes, celui qui passe en même temps par le rayon incident et par le rayon réfléchi. Ce plan doit donc être soigneusement distingué du plan réfléchissant; car si ce dernier est horizontal, par exemple, le plan de réflexion sera vertical.

des anneaux sont modifiées comme les faisceaux blancs qui auraient été réfléchis, sous des inclinaisons correspondantes, par l'une quelconque des surfaces des lentilles[1], comme il était, du reste, très-naturel de s'y attendre. L'expérience que je viens de rapporter n'ajoute donc rien, sous ce rapport, à ce que nous connaissions déjà; elle montre seulement que l'angle sous lequel les rayons des anneaux se seraient polarisés en se réfléchissant, par exemple, sur la surface supérieure de la seconde lentille, si elle avait été seule, n'a pas été altéré par le voisinage de la surface inférieure de la première; et ceci méritait d'autant mieux d'être vérifié, que la lumière se polarise complétement à la surface de séparation de deux milieux en contact sous un angle très-différent de celui sous lequel elle acquiert cette même modification lorsqu'elle rencontre séparément l'un quelconque de ces milieux.

J'ai quelquefois placé les deux lentilles sous le récipient d'une excellente machine pneumatique, mais sans apercevoir de changement appréciable soit dans les dimensions des anneaux, soit dans l'inclinaison sous laquelle la lumière est polarisée.

En examinant, par les moyens dont j'ai parlé plus haut, les anneaux qui se produisent entre une lentille de verre et un miroir de métal, on reconnaît qu'ils sont complétement polarisés sous l'angle de 35° environ, comme lorsqu'ils se formaient entre deux lentilles de

1. Cette similitude de modification n'est cependant pas tellement complète qu'on n'y découvre quelques différences, lorsqu'on examine bien attentivement, et sous toutes les inclinaisons, les intensités comparatives des deux images que fournit le rhomboïde.

verre. Ceci semblerait d'abord prouver que, dans ce phénomène, la lumière colorée est réfléchie par la seconde surface de la lentille supérieure, puisque les rayons que renvoient les métaux non oxydés ne sont polarisés que partiellement, et que sous toutes les inclinaisons ils se décomposent en deux images d'intensités très-peu inégales; mais avant de s'arrêter à cette conclusion, il était nécessaire de rechercher si la lame comprise entre les deux verres n'aurait pas, à cause même de son extrême ténuité, une action particulière sur les rayons qui la traversent.

Or, en analysant la lumière des anneaux qu'on aperçoit lorsqu'on regarde à travers deux lentilles superposées, à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux placé convenablement, on découvre qu'elle est polarisée dans les mêmes circonstances que la lumière des anneaux réfléchis. Ainsi, vus perpendiculairement, les anneaux transmis se décomposent en deux images également vives: l'une d'elles s'affaiblit par degrés à mesure que la ligne visuelle s'incline vers la surface des lentilles, disparaît complétement sous l'angle de 35°, se montre de nouveau dans les incidences plus petites et avec une intensité progressivement croissante. Il est de plus facile de s'assurer, et cette circonstance est digne de remarque, que les rayons colorés qui traversent la lame éprouvent le même genre de polarisation que les rayons qui se réfléchissent; c'est-à-dire que sous l'angle de 35°, et pour une position déterminée des lentilles et du rhomboïde, on apercevra toujours l'image de même nom, ordinaire ou extraordinaire, soit qu'on examine les anneaux réfléchis ou les anneaux transmis.

Pour faire commodément cette expérience, on placera, par exemple, les lentilles au-dessus d'un miroir métallique, mais de telle sorte que la lumière de l'atmosphère puisse tomber sur le miroir sans traverser le reste de l'appareil. Cela posé, si l'on intercepte avec un écran la lumière qui tombe directement sur la première surface de la lentille supérieure, on verra les anneaux transmis formés par les rayons qui, après avoir été réfléchis par le métal, viennent à l'œil en traversant les lentilles; si l'écran intercepte la lumière qui d'abord allait frapper le miroir, ou, ce qui revient au même, si l'on couvre ce miroir d'un papier noirci, on apercevra seulement les bandes réfléchies. Or, supposons que dans cette dernière circonstance on ait placé l'œil et le rhomboïde de telle sorte qu'on ne voie que l'image qui provient de la réfraction ordinaire : ce sera encore cette image ordinaire qu'on apercevra, tout étant resté dans la même position, lorsque, après avoir placé l'écran devant les deux lentilles, il ne se formera plus d'anneaux qu'à l'aide de la lumière qui les traverse.

Si l'on craignait que la polarisation partielle que les rayons éprouvent en se réfléchissant sur le miroir de métal ne pût induire en erreur, on aurait recours au procédé que voici.

On placerait les deux lentilles devant un corps blanc fortement éclairé, devant une feuille de papier, par exemple, et dans une direction un peu oblique. Il est clair alors que, quelle que fût la position de l'œil, on pourrait observer tour à tour et à volonté les anneaux transmis et les anneaux réfléchis. Les premiers se ver-

raient lorsque l'écran, placé devant les lentilles et du même côté que l'œil, arrêterait les rayons qu'elles auraient réfléchis; on n'apercevrait que les anneaux réfléchis, si l'écran, situé derrière, interceptait la lumière qui d'abord traversait l'appareil [1]. L'expérience s'achèverait comme dans le premier cas, puisque sous l'incidence de 35° un rhomboïde de carbonate de chaux dont la section principale serait convenablement située montrerait toujours, soit l'image ordinaire, soit l'image extraordinaire de l'une ou de l'autre suite d'anneaux.

Il résulte de tout ceci que, dans le phénomène des anneaux, la lumière blanche est décomposée en deux portions distinctes et colorées qui, suivant des routes différentes, sont cependant polarisées de la même manière, tandis que, dans le phénomène général découvert par Malus, les parties du faisceau incident, trans-

1. Si, sans rien changer à cette disposition, on supprime tout à fait l'écran, il se formera simultanément des anneaux transmis et des anneaux réfléchis. Lorsque le mur sera d'un éclat ou d'une blancheur uniforme, les deux séries se neutraliseront complétement, et l'on n'apercevra plus sur les lentilles aucune trace de coloration; mais ces couleurs se montreront de nouveau, pour peu que les faisceaux qui forment les deux classes de bandes n'aient pas la même force : aussi ce moyen peut-il servir, dans beaucoup de cas, à comparer l'intensité de la lumière de deux objets éloignés, de deux points de l'atmosphère, par exemple. Mais sans entrer, à cet égard, dans des détails qui seront mieux placés ailleurs, je me contenterai de faire remarquer que l'entière neutralisation des deux systèmes d'anneaux colorés prouve non-seulement que ceux de même rang ont des teintes complémentaires, comme Newton l'a dit, mais encore que leurs diamètres, la largeur de leurs orbites et leurs intensités sont parfaitement les mêmes, ce qui ne pourrait se démontrer autrement qu'à l'aide de mesures sujettes, par leur nature, à beaucoup d'incertitudes.

mises et réfléchies, sont polarisées en sens contraire [1].

Il est bon cependant de remarquer que les seuls rayons transmis sur lesquels une lame mince exerce l'action particulière dont il s'agit, sont ceux qui concourent à la formation des anneaux ; en sorte que si l'on observe avec un rhomboïde de spath calcaire, un objet quelconque situé derrière une semblable lame, on apercevra, sous toutes les inclinaisons et pour toutes les positions du cristal, deux images d'intensités très-peu inégales [2]. Qu'on

1. Pour rendre compte de cette anomalie, Malus supposait que la disparition d'une des images, quand on vise aux anneaux transmis, dépend de l'éclat que la polarisation par réfraction donne au fond sur lequel elle se projette; mais, sans parler des autres difficultés qu'on peut faire contre cette explication, on se convaincra de son insuffisance, si l'on examine les anneaux avec un rhomboïde qui ne sépare pas tout à fait les deux images. Il est clair, en effet, que dans ce cas la disparition complète d'une des suites serait accompagnée de la disparition de la partie de la seconde image qui se projetterait sur le même fond, ce qui n'arrive point. Je n'ai du reste parlé de cette explication, à laquelle Malus avait lui-même renoncé, que parce qu'elle est indiquée dans le Mémoire qui contient les belles expériences de ce célèbre physicien sur la polarisation par réfraction.

M. Biot, qui s'est aussi occupé récemment de ce phénomène, a cru pouvoir en déduire que la force polarisante ordinaire existe seule dans les lames minces. On voit en effet que si la force qui polarise par réfraction ne commençait à se faire sentir que dans des lames plus épaisses que celles sur lesquelles on aperçoit des anneaux, les bandes transmises et réfléchies devraient toujours présenter le même genre de polarisation; mais malheureusement cette hypothèse est contraire à l'expérience, car je me suis assuré que les lames très-minces polarisent par réfraction une partie de la lumière qui les traverse, tout aussi bien que les plaques épaisses de verre.

2. La légère différence d'intensité, quand elle existera, sera de plus en sens contraire de celle qu'on observe quand on vise directement, soit aux anneaux réfléchis, soit aux anneaux transmis.

examine, par exemple, dans une incidence très-rapprochée de la perpendiculaire, une série d'anneaux formée entre deux lentilles de verre; le rhomboïde fournira, comme on sait, deux images également vives, lors même que sa section principale sera perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion; si, tout restant dans le même état, on interpose deux nouvelles lentilles, de manière que les rayons des premiers anneaux traversent sous l'angle de 35° la lame mince qu'elles comprennent avant de tomber sur le cristal, les bandes transmises qui correspondront à cette seconde lame ne donneront qu'une seule image, tandis que les premiers anneaux se décomposeront encore en deux faisceaux de même force. On voit, dans cette expérience, que la même couche d'air, qui n'exerce aucune action sensible sur les rayons de diverses nuances qui émanent de la première série d'anneaux, polarise au contraire complétement et dans des circonstances en apparence semblables, toute la lumière blanche qui, en la traversant, a été décomposée en bandes colorées [1].

1. Les épaisseurs différentes d'un même corps jouissant, d'après Newton, de la propriété de transmettre et de réfléchir diverses teintes, il était naturel de penser qu'en examinant les anneaux, comme dans l'expérience ci-dessus, à travers une lame sur laquelle il se forme aussi des anneaux, les premiers se montreraient interrompus et incomplets dans divers points de leurs orbites. Pour vérifier ce soupçon, je posais le premier appareil à la distance où les anneaux se voyaient distinctement; j'interposais ensuite la seconde couple de lentilles, mais je la plaçais plus près de l'œil; un mouvement lent de va-et-vient me donnait la facilité de faire passer les diverses parties de chacun des anneaux de la première suite à travers toutes les épaisseurs de la seconde lame d'air; or, en répétant ces essais un assez grand nombre de fois, il ne

En faisant cette expérience avec des lames de verre soufflées au chalumeau, on reconnaît que sous l'angle de 35°, la portion de lumière transmise qui rend la lame visible est déjà polarisée comme si elle était réfléchie dans des épaisseurs sensiblement plus considérables que celles où elles commencent à paraître colorées; du reste, sur toute autre lumière, ces lames, quelle que soit leur ténuité, agissent comme des plaques épaisses de verre.

m'a pas été possible de remarquer que cette seconde lame ait influé en aucune manière, ni sur le nombre, ni sur la continuité, ni enfin sur les intensités comparatives des divers anneaux de la première suite. De cette expérience, qu'on peut vérifier de différentes manières, on doit conclure, ce me semble, qu'une très-petite partie du faisceau incident est décomposée par la lame mince; car, sans cela, il faudrait admettre que la simple transmission de la lumière à travers une lame n'est pas accompagnée des accès de facile réflexion et de facile transmission, ou bien que les rayons qui ont déjà éprouvé une première fois cette modification échappent ensuite constamment à l'action des forces d'où dépendent les accès, ce qui serait une supposition bien étrange.

La non-influence de la lame d'air au travers de laquelle on fait passer les premiers anneaux, me semble d'autant plus certaine, qu'en employant une loupe pour les observer, on peut apercevoir les plus petites irrégularités de leurs orbites. Une circonstance de cette expérience sur laquelle déjà Euler a porté son attention, et qui me paraît digne de remarque, c'est que la loupe doit être placée à une distance des lentilles précisément égale à celle dans laquelle on la fixerait si on voulait apercevoir distinctement l'une quelconque des deux surfaces qui comprennent la lame mince, et cela quoiqu'on puisse supposer, lorsqu'on fait l'expérience en plein air, que la lumière incidente était composée de plusieurs faisceaux de rayons parallèles.

En éclairant les objectifs, pendant la nuit, avec la lumière d'une chandelle éloignée, on remarquera également que lorsqu'on voit distinctement les anneaux, l'image réfléchie de la chandelle est diffuse, et réciproquement que si l'œil est placé de manière à voir distinctement l'image de la chandelle, les anneaux ne s'aperçoivent presque pas.

J'ai prouvé tout à l'heure que les deux portions de lumière colorée, réfléchie et transmise, en lesquelles se partage un faisceau blanc en tombant sur un corps mince, sont polarisées de la même manière, et comme si elles avaient été l'une et l'autre réfléchies. Il était par suite naturel de penser qu'il ne se produirait pas d'anneaux si l'on faisait tomber un faisceau polarisé sur les lentilles, dans les circonstances où, d'après les expériences de Malus, il doit échapper à la réflexion partielle : entre tous les moyens de s'assurer de la vérité de cette conjecture, voici celui qui me semble exiger le moins d'appareil.

On place une lentille de verre sur une lentille ou, en général, sur une plaque un peu épaisse de cristal d'Islande; on aperçoit alors une suite d'anneaux qui, sous toutes les inclinaisons, jouissent des mêmes propriétés que ceux qui entourent le point de contact de deux lentilles de verre ordinaire, puisque la lumière réfléchie à la première surface des cristaux ressemble entièrement à celle qui se polarise sur tout autre corps quelconque; mais en renversant l'appareil, on voit deux séries d'anneaux provenant des deux faisceaux en lesquels la lumière se partage dans le cristal. Si l'on examine les deux suites sous l'incidence de 35°, et que, l'œil restant fixe, on fasse faire une révolution entière aux lentilles autour de leur centre, on verra chaque série disparaître deux fois pendant ce mouvement : ainsi, dans les deux positions diamétralement opposées de la plaque de spath calcaire, pour lesquelles la section principale est perpendiculaire au plan de réflexion, on ne voit que la série d'anneaux qui provient de

la lumière réfractée extraordinairement, tandis que les seuls anneaux que produisent les rayons réfractés ordinairement sont visibles, toutes les autres circonstances étant les mêmes, si la section principale du cristal est parallèle au plan de réflexion. Ces disparitions, du reste, n'ont pas lieu d'une manière brusque; chaque série est d'autant plus faible qu'on se rapproche davantage de la position et de l'incidence où elle s'évanouit tout à fait, en sorte que si la section principale fait un angle de 45° avec le plan de réflexion, les deux séries ont une égale intensité, même sous l'incidence de 35°.

En examinant, sous l'inclinaison convenable, les anneaux transmis par le même système, on apercevra des phénomènes analogues; il est d'ailleurs facile de voir que dans ce cas comme dans le précédent, les disparitions successives des deux séries d'anneaux tiennent premièrement à ce que, dans chaque quart de révolution de la plaque de spath calcaire, un des faisceaux qu'elle fournit parvient à cette situation où il pénètre le verre en totalité, et deuxièmement à ce que lorsqu'un faisceau échappe à la réflexion partielle, il échappe également à l'action des forces qui décomposent la lumière ordinaire en anneaux, ce que nous voulions démontrer [1].

Si, sans rien changer aux autres dispositions de l'expérience précédente, nous substituons une plaque de cristal de roche peu épaisse et à faces parallèles, à la plaque

1. Ceux qui possèdent l'appareil dont Malus se servait pour prouver que la lumière échappe en totalité, dans quelques circonstances, à la réflexion partielle, pourront facilement vérifier ces conclusions; car il suffira pour cela de substituer deux verres donnant des anneaux au miroir unique que Malus faisait tourner

de spath calcaire dont nous nous servions d'abord, nous trouverons que les faisceaux ordinaire et extraordinaire suivant à peu près la même route, ne donneront qu'une seule série distincte d'anneaux à la formation de laquelle les deux classes de rayons concourront à la fois. Si maintenant nous analysons la lumière de ces anneaux à l'aide d'un prisme de spath calcaire, il faudra, pour ne voir qu'une seule image, non-seulement que la section principale du prisme soit perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion, et que l'incidence soit convenable; mais encore que la section principale de la plaque de cristal soit perpendiculaire ou parallèle au plan qui contient à la fois le rayon incident et le rayon réfléchi : dans toute autre position de cette plaque on apercevra deux images; et leurs intensités seront d'autant moins inégales, que la section principale fera avec le plan d'incidence un angle moins éloigné de 45°. Il est évident que, dans les positions que je viens d'indiquer, lorsqu'on ne voit qu'une seule image des anneaux, l'un des deux faisceaux de lumière traverse l'appareil sans être décomposé; du reste, on aperçoit les mêmes phénomènes si on pose la plaque de carbonate de chaux ou de cristal de roche sur un miroir métallique: le faisceau qui, dans le premier cas, traversait le verre inférieur, est alors réfléchi en partie par le métal; mais il ne se décompose point. On voit ainsi, dans cette expérience, un faisceau de lumière blanche

autour du rayon polarisé. Le même appareil servira à reconnaître que les anneaux qui se forment par réflexion entre un miroir de verre et un miroir métallique, disparaissent sous les mêmes circonstances que les anneaux qui entourent le point de contact de deux lentilles de verre.

traverser une lame très-mince d'air, se réfléchir sur son bord inférieur, et par conséquent sous l'influence de la première surface; repasser une seconde fois au travers de la même lame, et ne pas être cependant décomposé en anneaux.

Occupons-nous maintenant des phénomènes qu'on observe dans les incidences qui précèdent, et dans celles qui suivent l'incidence correspondante à la polarisation complète. Supposons d'abord que les anneaux se forment sur une lame d'air, comprise entre deux plaques de verre, et qu'on les analyse à l'aide d'un cristal doué de la double réfraction. Sous l'angle de 90° avec la surface, les rayons des anneaux paraîtront avoir les mêmes propriétés que la lumière ordinaire; à 35° ils seront complétement polarisés; plus obliquement, ces mêmes rayons semblent avoir convergé vers un état pour ainsi dire négatif, c'est-à-dire vers une polarisation diamétralement opposée à celle que la réflexion leur avait donnée sous l'angle de 35°, ce qui dépend en très-grande partie de l'influence que la première face du verre exerce sur les rayons ordinaires qui la traversent. Du reste, depuis l'incidence perpendiculaire jusqu'aux inclinaisons les plus obliques, les deux images fournies par le rhomboïde m'ont paru être parfaitement semblables, tant à l'égard des teintes des divers anneaux qu'à l'égard des diamètres de leurs orbites. Je n'insiste ici sur cette similitude de forme que parce que nous allons rencontrer des cas où elle n'a pas lieu.

Supposons, en effet, que la première lentille de verre, au lieu d'être placée, comme tout à l'heure, sur une lentille semblable, repose sur un miroir métallique, et qu'on

examine les anneaux de diverses couleurs dont le point de contact sera entouré, à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux. Depuis l'incidence perpendiculaire jusqu'à celle de 35° avec la surface, on aperçoit deux images qui, à l'intensité près, se ressemblent parfaitement. L'une d'elles disparaît tout à fait sous l'angle de 35°, lorsque la section principale du cristal est perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion ; elle se montre de nouveau dans les inclinaisons plus petites, mais avec cette particularité remarquable, que la couleur de chacun des anneaux qui la composent est complémentaire de celle des anneaux correspondants dans l'image qui n'a pas disparu. Si le miroir de métal et la lentille sont très-rapprochés, le centre commun des anneaux sera noirâtre à l'œil nu ; mais lorsqu'on se servira du cristal, cette tache se partagera entre les deux images, de telle sorte que si celle qui provient de la réfraction ordinaire, par exemple, a dans le centre une tache noire entourée d'un anneau blanc, l'image extraordinaire présentera, au contraire, dans les parties analogues, une tache blanche à laquelle succédera un anneau noir.

Si à l'œil nu, et pour un degré de rapprochement de la lentille et du miroir beaucoup moindre, la tache centrale des anneaux était rouge, elle se décomposerait, dans le cristal, en deux taches, dont l'une serait rouge et l'autre verte, et ainsi de suite pour toutes les parties des bandes, quelles que pussent être d'ailleurs leurs teintes primitives. On voit par là que, sous l'incidence perpendiculaire, les rayons qui forment les anneaux entre une lentille de verre et un miroir de métal, ont tous les carac-

tères de la lumière directe, puisqu'ils fournissent toujours deux images de même force; qu'ils sont polarisés sous l'angle de 35°, comme si le plan inférieur était de verre; mais que sous des inclinaisons moindres, ils reçoivent une modification particulière, qui les distingue à la fois de la lumière polarisée et de la lumière ordinaire; car, en passant à travers un cristal de carbonate de chaux, ils se décomposent en deux images dissemblables : au reste, il est évident de soi-même qu'à chaque quart de révolution du cristal les rayons du faisceau ordinaire passeront au faisceau extraordinaire et réciproquement, en sorte que les images auront fait un échange complet de leurs teintes.

Les images dissemblables que fournit le rhomboïde dans l'expérience qui nous occupe, étant composées d'anneaux dont les teintes sont complémentaires, il était naturel de rechercher si ceux du même rang dans les deux suites n'auraient pas des diamètres égaux. En partant de la remarque que je viens de faire sur les échanges de la lumière entre les deux images, pendant que le rhomboïde tourne sur son axe, on peut facilement démontrer que cette égalité n'existe pas[1]; le passage des rayons d'un

1. A l'œil nu et sans le secours d'aucun cristal, il est facile de reconnaître, avec un peu d'attention, que passé un certain angle qui ne doit pas beaucoup différer de 35°, les anneaux qui se forment entre la lentille de verre et le miroir de métal se composent de deux suites distinctes et de diamètres inégaux. Supposons, pour fixer les idées, que la lentille et le miroir soient fortement serrés l'un contre l'autre, en sorte que sous l'incidence perpendiculaire le centre commun des anneaux soit noir; à mesure que l'angle du rayon visuel avec la surface diminuera, le diamètre de la tache centrale augmentera graduellement et d'une petite quantité tout

faisceau à l'autre n'ayant lieu, en effet, que graduellement, pendant la révolution du cristal, il est clair qu'il arriverait un instant où l'une des images serait neutralisée par la portion de lumière qui proviendrait de l'image complémentaire, quelles que fussent d'ailleurs, à l'origine, leurs intensités respectives; tandis qu'en réalité on les aperçoit constamment toutes deux. Si l'une des deux suites était assimilée, par exemple, aux anneaux qu'on aperçoit par réflexion autour du point de contact des deux lentilles de verre convenablement serrées, l'autre devrait se comparer presque aux anneaux transmis par le même système; la ressemblance toutefois ne serait complète dans ce dernier cas qu'en supposant que les deux lentilles fussent placées dans un degré de rapprochement un peu différent de celui qui avait donné lieu d'abord à la production de l'image réfléchie.

aussi bien que celui des anneaux dont elle est entourée; mais lorsqu'il sera parvenu à l'incidence de la polarisation complète, les dimensions de la tache s'agrandiront brusquement; de nouveaux anneaux s'ajouteront aussi tout à coup à ceux qui avaient été visibles jusque-là, et la déborderont plus ou moins; dans cette superposition imparfaite de leurs orbites, il sera généralement assez difficile de suivre l'ordre de la succession des teintes; tandis qu'on pourra très-aisément remarquer, au contraire, que l'anneau qui est venu s'ajouter à la tache du milieu est plus sombre qu'elle. Passé un certain terme, la tache totale paraîtra même, sinon tout à fait blanche au centre, du moins très-sensiblement éclaircie; en sorte que, dans ce cas, le point où la lame mince semble réfléchir le moins de lumière n'est pas, à beaucoup près, celui de sa moindre épaisseur. Le rhomboïde de carbonate de chaux sépare en grande partie ces deux suites distinctes d'anneaux, parce qu'elles sont très-inégalement polarisées; il fournit par là le moyen de les observer chacune à part, et de reconnaître que les bandes dont elles se composent diffèrent les unes des autres tant en couleur qu'en diamètre.

J'avais employé dans ces expériences des miroirs parfaitement polis, soit d'acier, soit de cet alliage compacte et brillant dont se servent les opticiens pour faire des miroirs de télescopes; or, l'angle de polarisation sur les métaux est, comme on sait, beaucoup plus aigu que sur les autres corps, et cependant celui sous lequel on voit disparaître une des images des anneaux, lorsqu'un miroir métallique concourt à leur formation, est précisément le même que s'ils naissaient entre deux lentilles de verre. Ce fait semblerait prouver, contre l'opinion de Newton et des physiciens qui, après lui, se sont occupés du même objet, que la décomposition des rayons a lieu à la première surface de la lame mince, puisque c'est elle seulement qui paraît régler l'angle de la polarisation; mais cette supposition, tout improbable qu'elle est, ne suffirait pas pour expliquer les phénomènes.

Je me suis assuré, en effet, qu'un léger degré de dépoli dans la surface du miroir métallique inférieur n'est pas un obstacle à la formation des anneaux; mais alors on peut, à volonté, et sans changer l'inclinaison du rayon visuel, en apercevoir deux suites distinctes. La première sera produite par la lumière régulièrement réfléchie, et ressemblera à celle qu'on apercevait lorsque le miroir était parfaitement poli; l'autre, plus faible, ne sera visible que lorsqu'on arrêtera, avec un écran, la lumière contenue dans le plan de réflexion; car les rayons qui la forment parviennent latéralement au miroir inférieur, d'où ils sont réfléchis vers l'œil par les petites facettes dont, par hypothèse, il est recouvert : ces deux images auront toujours d'ailleurs des teintes complémen-

taires, ce qui suffit pour montrer qu'elles n'ont pas été formées de la même manière. Or, ces deux nouveaux anneaux, comme les premiers, sont polarisés sous l'angle de 35°, tout aussi bien que si chacune des deux faces de la lame mince avait été en contact avec un miroir de verre. Si donc on voulait admettre à la rigueur que les premiers anneaux se forment sur la surface supérieure de la lame, il resterait à expliquer pourquoi les autres, qui paraissent émaner du miroir métallique, sont polarisés sous le même angle, ce qui, dans le système de l'émission, ne semble pas aisé. Du reste, dans des inclinaisons plus petites que celle de la polarisation complète, le rhomboïde décompose aussi ces nouvelles bandes en deux images dissemblables et presque complémentaires : je dis presque complémentaires, parce que, bien qu'à l'œil nu les anneaux du même rang dans les deux images paraissent se correspondre, il est facile de voir, par la méthode dont je me suis déjà servi tout à l'heure, que leurs diamètres ne sont pas parfaitement égaux. En effet, si les diamètres étaient égaux, pendant une révolution complète du cristal, chaque image disparaîtrait deux fois.

On peut former les deux suites d'anneaux dont nous venons de parler, sans avoir recours à un métal dépoli ; il suffira pour cela que le miroir inférieur ait une couleur propre. L'argent de notre monnaie, par exemple, remplit parfaitement cet objet : quelque peu poli qu'il soit, il laisse voir, en effet, dans toutes les directions, une teinte grisâtre très-sensible ; cette lumière secondaire, en se décomposant dans la lame d'air comprise entre un pareil miroir et une lentille de verre, produit des anneaux qui

sont également visibles, de quelque manière que l'œil soit placé par rapport au faisceau incident; dont les teintes sont complémentaires de celles qu'on aperçoit sur ceux que forme la lumière régulièrement réfléchie; qui sont polarisés précisément sous le même angle, et qui enfin, dans les inclinaisons très-petites, se décomposent, dans un cristal convenablement placé, en deux images dissemblables. A cette dernière circonstance près, les anneaux, beaucoup plus brillants, qui seraient formés dans les mêmes conditions par la lumière propre à un miroir de porcelaine, présenteraient les mêmes phénomènes.

Il restait à chercher si les seuls miroirs de métal sont susceptibles de donner aux rayons des anneaux la propriété de se décomposer, sous certaines inclinaisons, en deux images dissemblables, et à déterminer quelle est celle de leurs propriétés dont cette modification remarquable peut dépendre. Pour cela, j'ai d'abord substitué au miroir inférieur de l'appareil précédent, celles des substances naturelles qui, par leur opacité, semblent devoir se rapprocher le plus des métaux, c'est-à-dire que j'ai formé des anneaux en plaçant une lentille de verre sur des plaques polies de charbon de terre, d'anthracite, de jaïet, etc. Or, dans tous ces cas, et sous toutes les inclinaisons, les deux images fournies par le rhomboïde étaient, à l'intensité près, parfaitement semblables en teinte et en grandeur, ou du moins ne différaient l'une de l'autre que très-légèrement. L'opacité du miroir inférieur n'étant pas la cause immédiate du phénomène, il était naturel d'imaginer que sa grande force

réfringente pourrait y avoir quelque part. Afin de soumettre ce soupçon à l'épreuve de l'expérience, j'ai rassemblé plusieurs fragments polis de soufre natif, de diamant, etc.; mais les anneaux formés sur ces corps n'ont pas présenté, du moins d'une manière sensible, l'inversion de couleur, quelque grande que fût l'inclinaison. Ces essais, il faut cependant en convenir, ne peuvent pas être regardés comme décisifs, vu que la force réfringente des métaux doit être de beaucoup supérieure à celle du soufre et du diamant. Sur les oxydes métalliques eux-mêmes, on distingue à peine quelques traces de dissemblance entre les deux images des anneaux que donne le rhomboïde, alors même que le rayon incident rase la surface de la lentille supérieure.

Si la présence d'un miroir métallique est nécessaire pour que le phénomène en question ait lieu lorsque les anneaux se forment sur une lame d'air, il n'en est pas ainsi du cas où le corps mince a bien plus de densité et est contigu, par une de ses faces, à un autre milieu assez réfringent. Ainsi, le charbon de terre offre souvent dans ses feuillures des couleurs très-vives, produites par une substance extrêmement mince, et qui se décomposent en deux images complémentaires, lorsqu'on les examine avec un rhomboïde sous des inclinaisons suffisamment obliques[1]. Les couleurs qui se forment artificiellement par les progrès de l'évaporation, sur de légères couches d'alcool ou

1. En appliquant les mêmes méthodes à l'observation des couleurs qui naissent sur les facettes de quelques cristaux de fer oligiste, de cuivre pyriteux, sur les mines de plomb sulfuré, etc., on apercevra un changement de couleur sans polarisation complète.

d'huile de sassafras, déposées sur le charbon ou toute autre substance analogue, donnent aussi naissance à deux images dissemblables et de teintes opposées.

Les expériences qu'on vient de lire, les déterminations que j'avais obtenues pour l'angle de polarisation des anneaux dans les circonstances variées où ils se développent, soit qu'une lame d'air soit comprise entre deux milieux de même force réfringente ou entre deux milieux très-différents; soit que la couche mince ait une densité intermédiaire entre celle du corps sur lequel elle repose, et la densité de celui qui est contigu à son autre surface, etc., m'avaient fourni les moyens de comparer la théorie des accès, dans les systèmes de l'émission et des ondes.

J'étais arrivé par là, sinon à donner une démonstration de l'insuffisance du premier système, du moins à montrer qu'il ne peut se concilier avec les phénomènes qu'en ajoutant perpétuellement de nouvelles propriétés à celles que Newton avait déduites de ses expériences. Cette partie de mon Mémoire a été brûlée chez l'imprimeur durant les longs retards que des affaires de librairie ont apportés à la publication du troisième volume des *Mémoires de la Société d'Arcueil*; je n'ai pas eu assez de loisir pour y suppléer; aussi bien, les belles expériences du docteur Thomas Young, et l'observation que Fresnel a faite du mouvement curviligne des bandes diffractées, me paraissent-elles trancher la question. Je terminerai donc par la description d'un phénomène bizarre que les anneaux présentent dans quelques circonstances, et dont l'explication

résulte, ce me semble, de la réunion des expériences que ce Mémoire contient.

Les artistes ont assez généralement l'habitude de recouvrir les pièces de cuivre polies de leurs instruments, d'une couche de vernis à la gomme laque. Lorsque cette couche est très-légère, elle présente des iris; les rayons colorés qui les forment sont polarisés sous un certain angle, et donnent naissance à deux images dissemblables, quand on les analyse avec un rhomboïde, sous une inclinaison suffisamment oblique, tout comme cela arrive dans les cas analogues que nous avons déjà discutés. La forme et la distribution des couleurs sont variées comme les causes qui les produisent. Je possède un couvercle de lunette sur lequel on aperçoit des places assez étendues et d'une teinte uniforme, et qui, par cela même, se prêtait très-bien aux observations que j'avais en vue : pour abréger, je ne rapporterai que celles que j'ai faites au coucher du Soleil; l'expérience ne réussit que par un temps serein.

Je vise au couvercle à l'œil nu, sous un angle très-aigu et dans la direction du Soleil couchant. Sa teinte est un vert sale tirant sur le bleu.

Toutes les autres circonstances restant les mêmes, je me tourne vers le sud, ou plus exactement vers un point de l'horizon éloigné du Soleil de 90°; le couvercle, de bleu qu'il était, devient pourpre très-vif.

Je fais encore un quart de tour dans le même sens. Le couvercle réfléchit alors vers l'œil des rayons qui partent de la portion de l'atmosphère diamétralement opposée au Soleil; sa teinte est de nouveau du vert bleuâtre.

A 90° de cette direction, vers le nord, on aperçoit une seconde fois du pourpre vif, quoique l'incidence n'ait pas changé.

Dans les positions intermédiaires entre les précédentes, les couleurs de la plaque sont des mélanges de rouge et de vert dans lesquels ces deux espèces de rayons prédominent successivement.

Cette expérience a été faite sous un angle très-aigu; lorsque le rayon visuel était très-rapproché de la perpendiculaire, le couvercle conservait la même teinte pourpre dans toutes les directions; seulement on remarquait une légère diminution d'intensité dans les azimuts nord et sud.

Enfin, sous une incidence intermédiaire entre les deux précédentes, et qui ne doit pas être très-éloignée de 35°, le couvercle était jaune verdâtre dans la direction du Soleil couchant et dans le sens diamétralement opposé, tandis qu'au nord et au sud on ne voyait aucune couleur.

Ainsi, en résumant, les couleurs que la gomme laque formait sur le couvercle, vues très-près de la perpendiculaire, ne changeaient pas avec l'azimut; sous l'angle de 35°, elles étaient très-visibles dans l'azimut du Soleil et dans le sens opposé; au nord et au sud, on n'en voyait aucune trace; plus obliquement, les couleurs changeaient continuellement de nature suivant que tel ou tel autre point du ciel envoyait des rayons sur le couvercle, mais avec cette particularité remarquable que les nuances de l'est et de l'ouest étaient toujours complémentaires de celles du nord et du sud.

Pour expliquer ces phénomènes, nous rappellerons :

1° que les rayons régulièrement réfléchis dans le plan d'incidence, et ceux qui nous parviennent après être tombés latéralement sur les aspérités du miroir, donnent des couleurs complémentaires; et 2° que la lumière que l'atmosphère nous envoie est plus ou moins complétement polarisée, suivant que l'angle sous lequel elle rencontre les molécules d'air est plus rapproché de 45°, ce qui revient à dire que les sections de la polarisation la plus parfaite forment un angle droit avec le plan vertical qui passe par le Soleil.

Cela posé, si l'on examine le couvercle dans la direction du Soleil couchant, ou dans la direction opposée et sous un angle assez aigu, les rayons contenus dans le plan de réflexion donneront naissance aux couleurs les plus vives; d'abord parce qu'ils sont très-abondants; et secondement, parce que ceux qui, arrivant latéralement, vont se réfléchir sur les petites facettes de la surface métallique, ont été polarisés sur des plans dirigés de l'est à l'ouest et qu'ils sont par conséquent, du moins pour la plupart, dans les circonstances où ils ne se laissent pas décomposer par les lames minces.

Or, ces mêmes rayons polarisés ne fourniront pas davantage de couleurs, lorsqu'ils se réfléchiront régulièrement dans le plan d'incidence, c'est-à-dire lorsqu'on se dirigera vers le nord ou vers le sud; mais alors la lumière qui arrive latéralement de l'est et de l'ouest doit être réfléchie vers l'œil par les aspérités du miroir de cuivre, et donner, en traversant la couche de gomme laque, des couleurs complémentaires de celles qui seraient résultées de la décomposition des rayons situés dans le

plan de réflexion. On voit, en un mot, que, soit qu'on examine le couvercle dans la direction du couchant, ou dans celle du sud, les rayons qui le colorent viennent toujours du couchant.

Les rayons situés dans un plan perpendiculaire à celui de réflexion, quoique complétement polarisés, n'échappent en totalité au genre de décomposition qui produit les anneaux colorés, que dans le seul cas où ils rencontrent la lame mince sous l'inclinaison convenable : il résulte de là que la lumière du nord et du sud donnera des couleurs, et qu'elles seront d'autant plus vives, que l'incidence sous laquelle on fera l'observation sera plus éloignée de celle qui correspond à leur disparition complète. Ces couleurs, dans certaines circonstances, pourront être entièrement neutralisées par la lumière latérale, ce qui est conforme aux phénomènes.

J'ai supposé jusqu'ici, pour plus de simplicité, que la lumière atmosphérique est complétement polarisée lorsqu'elle est réfléchie par des molécules d'air éloignées du Soleil de 90°, ce qui n'est pas parfaitement exact ; de plus, je n'ai tenu compte que des rayons situés dans le plan de réflexion et dans le plan perpendiculaire à celui-là, tandis qu'il est évident que les rayons contenus dans les plans intermédiaires doivent être aussi décomposés par la lame ; mais il est facile de voir que, si ces nouveaux rayons doivent modifier la vivacité des teintes, du moins ils ne peuvent pas les faire changer de nature ; en sorte qu'il serait inutile d'en surcharger l'explication que nous venons de donner.

MÉMOIRE

SUR

LA POLARISATION COLORÉE

LU LE 11 AOUT 1811
A LA CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES DE L'INSTITUT IMPÉRIAL
DE FRANCE [1]

J'eus l'honneur, dans le mois de février dernier, de communiquer à la Classe un Mémoire[2] relatif à une modification singulière qu'éprouvent les rayons lumineux, lors-

1. Ce Mémoire (voir la *Notice sur la polarisation* insérée au tome VII des *OEuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*, p. 381 à 389) a été lu à la première Classe de l'Institut dans sa séance du 11 août 1811; il a paru en 1812 dans le tome des Mémoires de cette Classe pour 1811, sous le titre : *Mémoire sur une modification remarquable qu'éprouvent les rayons lumineux dans leur passage à travers certains corps et sur quelques autres phénomènes d'optique.* Dans l'intervalle, j'ai profité du peu de moments de loisir que me laissaient mes fonctions d'astronome à l'Observatoire, pour examiner quelques phénomènes d'optique plus ou moins étroitement liés à ceux que j'avais déjà décrits, et qui montrent nettement de quelles circonstances, dans la texture intérieure des cristaux, dépendent les propriétés remarquables que les rayons acquièrent en les traversant. Je m'étais proposé de réunir tout ce travail en un seul Mémoire, qui aurait été ainsi moins indigne de l'attention des physiciens; mais plusieurs personnes s'étant occupées des mêmes recherches, je me suis trouvé dans la nécessité de publier séparément mon premier travail, en me réservant de donner, dans une autre circonstance, des développements destinés à compléter la théorie de ce genre de phénomènes.

2. Voir précédemment p. 1 à 35.

qu'en tombant sur deux lentilles superposées, ils forment autour de leur point de contact ces anneaux colorés dont Newton s'est occupé avec tant de détails dans le deuxième livre de son immortel traité d'Optique. En cherchant, déjà à cette époque, à confirmer l'exactitude des conclusions que j'avais déduites de mes premières expériences, j'aperçus, en examinant les anneaux et les ondes colorées que présentent certaines plaques de talc de Moscovie, quelques phénomènes singuliers dont je ne parlai point alors, parce qu'ils étaient étrangers à l'objet que j'avais en vue, et qu'il me semblait très-difficile de les expliquer. L'examen attentif que j'en ai fait depuis, m'ayant montré qu'ils dépendent d'une modification particulière qu'éprouvent les rayons lumineux, j'ai pensé qu'il me serait permis d'en faire le sujet du Mémoire que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à la Classe. L'ordre dans lequel je vais rapporter les expériences différera fort peu de celui dans lequel elles ont été faites.

En examinant, par un temps serein, une lame assez mince de mica, à l'aide d'un prisme de spath d'Islande, je vis que les deux images qui se projetaient sur l'atmosphère n'étaient pas teintes des mêmes couleurs : l'une d'elles était jaune verdâtre, la seconde rouge pourpre, tandis que la partie où les deux images se confondaient était de la couleur naturelle du mica vu à l'œil nu. Je reconnus en même temps qu'un léger changement dans l'inclinaison de la lame par rapport aux rayons qui la traversent, fait varier la couleur des deux images, et que si, en laissant cette inclinaison constante et le prisme dans la même position, on se contente de faire tourner

la lame de mica dans son propre plan, on trouve quatre positions à angle droit où les deux images prismatiques sont du même éclat et parfaitement blanches. En laissant la lame immobile, et faisant tourner le prisme, on voyait de même chaque image acquérir successivement diverses couleurs, et passer par le blanc après chaque quart de révolution. Au reste, pour toutes ces positions du prisme et de la lame, quelle que fût la couleur d'un des faisceaux, le second présentait toujours la teinte complémentaire[1], en sorte que, dans ces points où les deux images n'étaient pas séparées par la double réfraction du cristal, le mélange de ces deux couleurs formait du blanc. Il est bon cependant de remarquer que cette dernière condition n'est rigoureusement satisfaite que lorsque la lame est partout de même épaisseur. C'est alors seulement, en effet, que chaque image est d'une teinte uniforme dans toute son étendue; car dans les autres cas, elles présentent l'une et l'autre dans des points, même contigus, des couleurs très-différentes et disposées d'autant plus irrégulièrement que le mica qu'on emploie a des inégalités plus sensibles. Quoi qu'il en soit, les parties des images qui se correspondent sont toujours teintes de couleurs complémentaires.

Pour écarter, dans ces premiers essais, toute idée de l'influence qu'aurait pu avoir, sur l'apparition des couleurs, la dispersion de la lumière dans les images prismatiques, j'employais quelquefois, en faisant cette expérience, soit un rhomboïde de spath calcaire, soit un

1. J'appelle, avec quelques physiciens, couleurs complémentaires celles qui, réunies, forment du blanc.

prisme de cette substance auquel on avait adossé un prisme de verre ordinaire, afin de le rendre achromatique : les résultats furent toujours les mêmes.

L'expérience que je viens de rapporter semble, au premier aspect, avoir quelque analogie avec la vingt-quatrième du second livre de l'*Optique* de Newton, où ce célèbre physicien rapporte qu'ayant superposé deux lentilles de verre ordinaire, il ne voyait que cinq à six anneaux à l'œil nu, tandis qu'à l'aide d'un prisme il lui arriva souvent d'en compter plus de quarante. On conçoit aisément la raison de ce phénomène, en remarquant, avec Newton, que les anneaux colorés existaient déjà dans la lame d'air comprise entre les deux verres, mais qu'ils y étaient beaucoup trop resserrés pour qu'on pût les distinguer à l'œil nu : le seul effet que produisait le prisme était donc de séparer les orbites des divers anneaux, en déviant inégalement les rayons différemment colorés ; mais aucune modification de ce genre ne peut évidemment avoir lieu dans l'expérience que j'ai décrite : si les couleurs n'étaient invisibles dans le mica, à l'œil nu, qu'à cause de leur mélange, on ne devrait pas les apercevoir davantage en examinant la plaque au travers des faces parallèles d'un rhomboïde de carbonate de chaux ou avec un prisme achromatisé, puisque, dans ces deux circonstances, les rayons de diverses couleurs étant également réfractés, les teintes seraient tout aussi mélangées dans les deux images que dans la plaque elle-même vue à l'œil nu. On voit encore, pour ne m'arrêter qu'à ces deux seules circonstances, qu'on ne pourrait, par ce moyen, rendre raison ni des colorations très-diverses des

deux images que produit le rhomboïde, ni de l'absence totale des couleurs pour certaines positions de la lame de mica.

Dans les essais dont je viens de parler, la lame de mica ne transmettait que les rayons que nous réfléchit immédiatement l'atmosphère, puisque, ainsi que je l'ai dit plus haut, ses deux images se projetaient sur le ciel. Or, leurs couleurs me semblaient varier d'intensité, et avec l'heure du jour, et avec la position, par rapport au Soleil, de la partie de l'atmosphère qui envoyait des rayons sur la lame. J'avais également remarqué que, par un temps entièrement couvert, les deux images ne présentaient pas les moindres traces de coloration; mais, dans cette dernière circonstance, ainsi que je l'avais préalablement observé, les rayons que l'atmosphère nous envoie ressemblent parfaitement à la lumière directe, tandis que, par un temps serein, ces rayons, dans chaque direction, sont plus ou moins fortement polarisés suivant la position du Soleil. Ce rapprochement devait naturellement me conduire à examiner l'influence de la polarisation préalable des rayons sur les couleurs auxquelles ils donnent naissance lorsqu'ils tombent sur un cristal doué de la double réfraction, après avoir d'abord traversé une lame de mica. Or, en recevant sur cette lame la lumière réfléchie par un plan de verre non étamé, il ne fut pas difficile de remarquer que les couleurs qu'on aperçoit avec le spath calcaire sont d'autant plus vives, que la lumière a été réfléchie sous un angle plus approchant de 35° environ, ce qui semble prouver que les seuls rayons polarisés produisent les couleurs dont il s'agit ici. L'expé-

rience qui va suivre lèvera d'ailleurs tous les doutes à cet égard.

Si l'on examine un objet quelconque, la flamme d'une bougie par exemple, à travers les faces opposées d'un rhomboïde de carbonate de chaux, les deux images qu'on apercevra seront blanches et de la même intensité, soit que les rayons tombent immédiatement sur le cristal, ou qu'ils aient préalablement traversé une lame de mica.

Si l'on vise à la flamme, déjà réfléchie par un miroir de verre non étamé, il y aura entre les deux images, pour certaines positions du rhomboïde[1], une différence d'intensité d'autant plus considérable, que l'angle de réflexion approchera davantage de 35° environ, puisqu'à cette limite, comme on sait, une des images disparaît complétement. Supposons maintenant qu'après être arrivé à cette inclinaison, on interpose une lame de mica de manière que les rayons réfléchis par le miroir la traversent avant de tomber sur le rhomboïde. L'image qui ne se voyait point avant l'interposition de la lame reparaîtra, mais avec une couleur dépendante, quant à sa vivacité et à sa nature, de l'épaisseur de la lame interposée et de l'angle plus ou moins considérable sous lequel les rayons la traverseront : quelle que soit au reste cette inclinaison, les deux images seront toujours teintes de couleurs complémentaires; en sorte que si, en faisant varier la position de la plaque, la première image parcourt successivement, et à plusieurs reprises, toute la série

1. Ces positions sont celles dans lesquelles la section principale du cristal est perpendiculaire ou parallèle au plan qui contient à la fois le rayon incident et le rayon réfléchi.

des couleurs prismatiques, la seconde éprouvera toujours des changements correspondants, et tels, qu'aux mêmes instants les deux couleurs réunies formeront du blanc. Il est presque inutile de dire, d'après ce que j'ai rapporté plus haut, qu'il y a quatre positions respectivement rectangulaires de la lame, dans lesquelles elle n'exerce aucune influence sur les rayons polarisés qui la traversent ; et qu'en faisant tourner le rhomboïde, la plaque de mica restant immobile, on verra les deux images complémentaires passer par le blanc après chaque quart de révolution du cristal, du moins dans les incidences perpendiculaires.

Il résulte, comme on voit, des expériences précédentes, que les lames de mica, vulgairement connues sous le nom de talc de Moscovie, placées d'une certaine manière, dépolarisent les rayons lumineux qu'une réflexion sous l'angle convenable avait déjà modifiés. On voit, de plus, que ces lames semblent agir diversement sur les rayons de différentes couleurs, et que, par suite, elles impriment aux rayons de lumière des caractères qui les distinguent à la fois et de la lumière directe et des rayons polarisés. Si les propriétés de ces derniers rayons dépendent, comme on l'a supposé, de la disposition particulière des axes des molécules dont ils sont formés, il y aura, entre le rayon qui a été polarisé en se réfléchissant, ou en traversant un cristal doué de la double réfraction, et ce même rayon, à son émergence d'une lame de mica, cette différence, que dans le premier les axes des molécules de diverses couleurs sont parallèles, tandis que dans le second il existe des molécules de diverses teintes dont les axes ont des directions différentes.

M. Malus a trouvé le premier, non-seulement que les rayons lumineux éprouvent, dans leur réflexion sur les corps diaphanes, une modification identique avec celle que leur communiquent les cristaux doués de la double réfraction, mais encore que les rayons, polarisés par l'une quelconque de ces deux méthodes, jouissent de quelques propriétés qui les distinguent essentiellement de la lumière directe. Si l'on suppose, par exemple, qu'un faisceau de lumière ordinaire tombe sur un miroir de verre, il se réfléchira toujours un certain nombre de rayons de la première et de la seconde surface du miroir; mais lorsque le faisceau incident a été préalablement polarisé, on trouvera deux situations du miroir dans lesquelles il ne réfléchit pas une seule molécule de lumière, si toutefois l'angle d'incidence est de 35° environ. On conçoit d'ailleurs que ces situations sont liées à celles du plan ou du cristal à l'aide duquel le faisceau a été polarisé. Il ne me sera pas difficile maintenant d'indiquer une expérience très-simple, à l'aide de laquelle on pourra se faire une idée précise de la modification singulière qu'éprouvent les rayons lumineux polarisés en traversant le mica.

Qu'on dispose horizontalement, par exemple, une plaque quelconque de mica, et qu'ensuite on fasse tomber sur sa surface des rayons lumineux réfléchis verticalement de haut en bas par un miroir de verre et sous une inclinaison de 35° environ. Si on regarde le miroir supérieur à travers la lame, on le verra parfaitement blanc; d'où il résulte que le mica transmet les rayons de toutes les couleurs. Supposons maintenant qu'on place en dessous de la lame un miroir de verre non étamé, for-

mant avec la verticale, mais en sens contraire, un angle égal à l'inclinaison du premier miroir sur cette même ligne : d'après cette disposition, le second miroir n'étant éclairé que par le faisceau blanc que le premier réfléchit verticalement, il semble naturel de croire qu'il ne réfléchira à son tour que des rayons blancs; cependant, en plaçant l'œil dans la position convenable, on apercevra, non-seulement que l'image du premier miroir, vue dans le fond, est très-fortement colorée, mais encore que, si l'on fait tourner ce dernier miroir sans altérer l'angle qu'il forme avec la verticale, le faisceau qu'il réfléchit passera par diverses teintes, quoique les angles d'incidence et de réflexion aient été toujours les mêmes. Il sera tout aussi facile de remarquer que, après un quart de révolution à partir d'une position quelconque, ce second miroir réfléchira toujours la couleur complémentaire de celle qu'il réfléchissait en premier lieu.

La pile de plaques de verre que M. Malus a employée avec tant de succès dans l'examen de plusieurs phénomènes de la polarisation de la lumière peut également servir à observer les couleurs dans le mica. On sait en effet que, toutes choses d'ailleurs égales, la quantité de rayons polarisés que cet instrument transmet varie avec la position des plans primitifs de polarisation; mais nous avons déjà vu que les molécules de diverses couleurs dont se compose un rayon blanc qui a traversé une lame de mica, ont leurs axes placés de différentes manières; d'après cela il était facile de prévoir que, si une telle lame, vue à travers la pile, paraît rouge, il doit suffire, pour lui voir parcourir diverses autres teintes, de faire

tourner l'instrument sur lui-même, sans altérer l'angle d'incidence des rayons lumineux sur ses faces.

J'ai dit plus haut que l'espèce de couleur qu'une lame de mica dépolarise, dans une position et sous une incidence déterminées, dépend de l'épaisseur de la lame. J'ai pu en effet marquer, dans une même feuille de talc, qui s'amincissait graduellement en allant d'une extrémité à l'autre, une portion assez étendue qui dépolarisait les rayons bleus; l'espace qui suivait celui-ci colorait en jaune la seconde image prismatique ; plus loin, dans la même direction, cette image se présentait de nouveau avec une teinte bleue, tandis que, dans une quatrième position, la plaque dépolarisait une seconde fois les rayons jaunes. Il résulte de là, comme on le voit, que si, après avoir trouvé la position d'un rhomboïde dans laquelle on n'aperçoit qu'une seule image d'un objet quelconque réfléchi par un miroir de verre, on interpose une plaque de mica d'épaisseur variable, on verra reparaître une autre image, dont la teinte, toutes les autres circonstances étant les mêmes, dépendra de la portion de la lame que les rayons auront traversée avant de tomber sur le cristal. En profitant de la facilité avec laquelle les lames de mica peuvent se séparer les unes des autres, on peut produire artificiellement ce même phénomène, à l'aide d'une plaque régulière et d'épaisseur constante. Pour cela, j'ai placé en avant d'un miroir de verre non étamé et bien poli une chandelle, dont les rayons faisaient avec la surface du miroir un angle de 35° environ ; j'ai disposé ensuite un prisme de cristal d'Islande achromatique, de telle sorte que les rayons réfléchis n'éprou-

vaient plus la double réfraction, et passaient tous dans l'image ordinaire; l'interposition d'une lame de mica entre le prisme et le miroir a fait paraître immédiatement l'image extraordinaire, mais avec une couleur bleue verdâtre très-vive; quant au premier faisceau, il a passé au jaune pur. J'ai arrêté alors la plaque, de manière que sa position, par rapport au miroir, ne pût pas varier, et, à l'aide d'un instrument tranchant, j'en ai enlevé une lame mince; la plaque de mica, ainsi diminuée, a teint le faisceau extraordinaire en jaune pur, mais l'image ordinaire est devenue bleue. La soustraction d'une seconde lame a fait passer de nouveau cette dernière image au jaune vif, pendant que l'autre se colorait en bleu. Si, au lieu de détacher complétement les diverses lames, on se contente de ne les séparer que par une de leurs extrémités, on pourra examiner successivement les couleurs que la grande plaque dépolarise, soit quand on l'amincit, soit quand on la recompose. On doit, au reste, s'attendre à apercevoir des effets d'autant plus variés, que les épaisseurs des lames enlevées seront plus inégales.

Lorsque l'épaisseur d'une lame de mica varie fort rapidement et avec régularité, elle dépolarise une couleur déterminée dans des points fort rapprochés les uns des autres et à peu près également espacés : je me suis procuré en effet une plaque assez large, dont les faces opposées forment un angle sensible, en sorte que son épaisseur est d'autant plus grande, que l'on considère un point plus éloigné de l'arête où ces deux faces se rencontrent : aussi, en employant le moyen d'observation dont j'ai déjà parlé plusieurs fois, on voit chaque image bordée

de lignes colorées complémentaires, étroites, bien terminées, parallèles entre elles et à l'arête de jonction des deux faces opposées de la plaque. Les couleurs de ces lignes lumineuses sont d'autant plus vives, que la lumière incidente a été plus complétement polarisée; aussi, par un temps entièrement couvert, à peine en aperçoit-on quelques légères traces.

En regardant les anneaux colorés ordinaires sous des incidences de plus en plus obliques, on les voit, comme on le sait, marcher toujours vers la partie la plus épaisse de la lame d'air sur laquelle ils se forment. Les bandes que je viens de décrire marchent au contraire, dans certaines positions de la plaque, vers la partie la plus mince, et en se resserrant à mesure qu'on incline de plus en plus la plaque par rapport aux rayons qui la traversent. Les premiers anneaux se forment avec la lumière directe; les autres nécessitent de la lumière polarisée, et disparaissent quatre fois, le prisme restant fixe, pendant une révolution complète de la plaque, ou après chaque quart de révolution du prisme, si on laisse la lame de mica dans une position constante.

Pour déterminer la loi suivant laquelle varient les couleurs des deux images prismatiques par le seul changement d'inclinaison, je me suis servi d'une lame de mica qui, à cause de sa grande régularité, dépolarise dans toute son étendue la même espèce de rayons. Je l'ai placée d'abord perpendiculairement aux rayons réfléchis polarisés, et ensuite je l'ai fait tourner sur elle-même et autour d'une ligne perpendiculaire au plan de réflexion, en sorte que pendant tout ce mouvement la lame est restée con-

stamment perpendiculaire à ce dernier plan. Or l'image prismatique, provenant de la dépolarisation de la lumière, qui était rouge dans la première position de la plaque, a successivement passé au violacé, au vert bleuâtre foncé, au jaune verdâtre, au jaune et à l'orangé; puis elle est devenue rouge, et le mouvement de la plaque de mica, continué dans le même sens, l'a fait passer de nouveau au violet, au vert, au jaune verdâtre, au jaune pur et au rouge. La lame se trouvant alors très-fortement inclinée aux rayons incidents, je l'ai ramenée à la position primitive; je lui ai donné ensuite un mouvement dirigé en sens contraire du premier, et j'ai vu, comme dans l'autre cas, l'image rouge dépolarisée acquérir successivement toutes les couleurs prismatiques, passer au rouge de nouveau, et se teindre une seconde fois de la même série de couleurs par le seul changement d'inclinaison de la lame. Il est presque inutile de dire que, pendant tous ces mouvements, la première image parcourait toujours les teintes complémentaires de la seconde; et que si elles étaient généralement moins vives, c'est que cette image contenait un certain nombre de rayons blancs qui n'avaient pas été partiellement dépolarisés.

Il résulte, comme on voit, de ce que je viens de rapporter, qu'on peut, à l'aide d'une simple lame mince de mica et d'un cristal doué de la double réfraction, séparer successivement de la lumière blanche les divers rayons colorés dont elle se compose. Cette méthode ne donne pas, il est vrai, des couleurs parfaitement pures; mais elle a aussi, sur toutes celles dans lesquelles on emploie

des prismes, le grand avantage que les images ne sont pas déformées.

Comme il m'avait semblé reconnaître, dans plusieurs expériences, que, toutes choses d'ailleurs égales, la faculté dont jouissent les lames de mica de dépolariser diversement les rayons différemment colorés, s'affaiblit lorsque leur épaisseur diminue, il était naturel que je cherchasse à voir si, passé un certain terme, elles ne la perdaient pas entièrement. Or, en analysant un rayon polarisé que j'avais fait passer ensuite au travers d'une lame extrêmement mince de mica qui lui était presque perpendiculaire, à l'aide d'un cristal doué de la double réfraction, j'ai trouvé que la lame avait non-seulement perdu la propriété de dépolariser diversement les rayons différemment colorés, mais même que la seconde image fournie par le cristal était toujours extrêmement faible, quelle que fût la position de la plaque dans son propre plan, ce qui prouvait qu'elle n'avait presque point agi sur les rayons blancs. Pour sentir ce que cette observation présente de remarquable, il suffit de se rappeler que si l'on substitue à la lame mince de mica interposée un corps quelconque doué de la double réfraction, quoique à un degré trop faible pour séparer sensiblement les deux faisceaux, on trouvera toujours quatre positions de ce corps pour lesquelles les deux images fournies par le dernier cristal seront l'une et l'autre de même intensité. Au reste, ces lames très-minces de mica ne semblent avoir perdu la propriété de dépolariser la lumière, que lorsque leur plan est perpendiculaire à celui dans lequel se sont polarisés les rayons qui les traversent. Dans les autres posi-

tions, les lames présentent des phénomènes particuliers, dont le détail m'écarterait du but que je me suis proposé dans ce Mémoire [1].

Je n'ai parlé jusqu'ici que des couleurs qu'on aperçoit à l'aide de la lumière transmise; les rayons réfléchis par les lames paraissent modifiés d'une manière analogue, avec cette différence cependant, qu'on aperçoit des couleurs sans qu'il soit indispensable que la lumière incidente ait été préalablement polarisée, surtout lorsqu'il y a dans les lames quelque solution de continuité bien sensible. Il n'entre pas dans mon plan de décrire aujourd'hui avec détail ce dernier genre de phénomènes; je ne rapporterai même l'expérience suivante que parce qu'elle me semble prouver que ce n'est pas uniquement dans les variations d'épaisseur des lames qu'il faut chercher la cause des couleurs qu'elles présentent à la simple vue, comme on l'avait fait jusqu'ici.

Je me suis d'abord assuré que les lames de sulfate de chaux jouissent, par rapport aux rayons polarisés, des mêmes propriétés que celles de mica; j'ai ensuite choisi de préférence un fragment de cette première substance, parce qu'elle donne des couleurs très-vives par réflexion. Je l'ai placé sur un corps noir, et en le faisant tourner sur lui-même, l'œil restant fixe, j'ai bientôt trouvé la position où la lame était parfaitement blanche. A partir de ce

1. Si, comme il est naturel de le croire, le mica jouit de la double réfraction, l'expérience, rapportée dans ce paragraphe, prouve que des lames très-minces, ou les éléments dont se compose une lame épaisse, n'ont pas cette propriété. Ce résultat était trop important pour que je ne cherchasse pas à le mettre hors de doute, et c'est à quoi je suis arrivé par divers moyens.

point, il ne m'a pas été difficile de remarquer qu'une partie de la plaque sur laquelle j'avais fixé la vue, passait successivement par toutes les teintes inscrites dans le tableau suivant, quoique d'ailleurs les rayons incidents et réfléchis fissent toujours le même angle avec sa surface.

Dans la première position la lame est	blanche.	
deuxième	rouge.	
troisième	verte.	
quatrième	blanche.	La lame a fait un quart de révolution.
cinquième	verte.	
sixième	rouge.	
septième	blanche.	La plaque a décrit une demi-circonférence.
huitième	rouge.	
neuvième	verte.	
dixième	blanche.	La lame a fait trois quarts de révolution.
onzième	verte.	
douzième	rouge.	
treizième	blanche.	La lame est revenue à sa position primitive.

En examinant la plaque pendant son mouvement, à l'aide de la lumière transmise, on s'assure que dans chaque position les couleurs dont elle est teinte sont complémentaires des couleurs réfléchies, et qu'elles disparaissent après chaque quart de révolution. Au reste, les couleurs qu'on aperçoit sur le sulfate de chaux avec la lumière non polarisée ne sont bien sensibles que dans ces parties où

deux lames commencent à se séparer, et sous des incidences assez obliques.

Avant de passer à la description des phénomènes que présente le cristal de roche, il ne sera peut-être pas inutile que j'indique le parti qu'on peut tirer de la lunette prismatique [1], pour faire la plupart des expériences que j'ai rapportées.

Lorsque l'axe optique de la lunette fera un angle de 35° environ avec la surface d'un miroir non étamé, on verra chaque image disparaître deux fois pendant une révolution complète de l'instrument. Supposons que la lunette étant dans l'une de ces positions où l'on ne voit qu'une seule image, on interpose une plaque de mica ; aussitôt on en verra deux dont les couleurs complémentaires dépendront de l'inclinaison de la lame interposée et de son épaisseur. Du reste, si, laissant la lunette immobile, on fait faire un tour entier à la lame de mica devant l'objectif, la même image disparaîtra quatre fois après avoir passé successivement par diverses intensités. Ces faits ne diffèrent point de ceux que j'ai rapportés plus haut; mais l'emploi de la lunette prismatique présente quelques avantages, en ce que les teintes sont très-vives, et que les deux images sont bien terminées, ce qui prouve que les lames intérieures qui produisent les couleurs, n'épar-

1. On appelle ainsi une lunette dont M. Rochon a donné depuis longtemps la description dans ses opuscules, et qui peut être employée avec beaucoup de succès dans l'observation des diamètres des planètes. Cet instrument est composé tout simplement d'une lunette ordinaire dans l'intérieur de laquelle est un prisme de cristal de roche ou de carbonate de chaux; ce prisme est achromatique et mobile le long de l'axe, ce qui fournit le moyen de séparer plus ou moins complétement les deux images de l'objet auquel on vise.

pillent pas irrégulièrement la lumière, comme on aurait pu le soupçonner sans cela. On peut encore déduire de ce moyen d'observation, que les rayons polarisés éprouvent une modification permanente en passant dans le mica ou le sulfate de chaux, puisqu'ils ne tombent sur le prisme intérieur de la lunette qu'après avoir traversé les verres de diverses courbures dont l'objectif est formé.

Supposons qu'on substitue un miroir métallique au miroir de verre dont je me servais d'abord. Dans quelque sens qu'on tourne la lunette, on ne verra disparaître aucune image, puisque, d'après les expériences de M. Malus, les rayons réfléchis, dans cette circonstance, se composent de molécules polarisées en sens opposés, et probablement aussi d'une portion de lumière non modifiée. Admettons pour un moment que le rayon réfléchi renferme des quantités égales de molécules polarisées en sens contraires : les deux images seront de même intensité, et l'interposition de la plaque de mica ne devra produire aucun effet. Cependant, quoique d'abord on puisse à peine reconnaître si les deux images sont réellement inégales, aussitôt que la feuille de mica est devant l'objectif, on les voit se teindre l'une et l'autre de couleurs fort sensibles, et distribuées dans le même ordre que lorsqu'on visait dans les positions analogues de la lunette à l'image réfléchie par un miroir de verre. Ceci prouve à la fois que les deux faisceaux n'étaient pas originairement de même force, et que l'absorption doit avoir particulièrement porté sur l'espèce de molécules que les corps diaphanes transmettent. Supposons, en effet, que les deux faisceaux polarisés en sens contraires soient également

vifs, et faisons abstraction de la lumière blanche non modifiée que renferme le rayon réfléchi, puisque celle-ci ne se décompose pas : lorsqu'on placera la lame de mica devant la lunette prismatique, les rayons verts de l'image ordinaire, par exemple, seront dépolarisés par la plaque et passeront dans le faisceau provenant de la réfraction extraordinaire; mais comme, dans le même instant, un égal nombre de molécules vertes passera de ce second faisceau dans le premier, il n'y aura ni changement d'intensité ni changement de couleur. On voit, au contraire, que si l'image ordinaire était plus intense que l'autre, elle lui transmettrait, par l'influence de la plaque, un plus grand nombre de molécules vertes que celui qu'elle en recevrait; les deux faisceaux auraient donc des teintes complémentaires, et c'est là en effet ce que j'ai aperçu avec tous les miroirs métalliques dont je me suis servi dans ces expériences.

Dans tous les exemples que j'ai cités jusqu'à présent, la dépolarisation des rayons lumineux a été effectuée à l'aide de corps plus ou moins minces; mais cette propriété ne leur appartient pas exclusivement. J'ai trouvé, en effet, une plaque de cristal de roche de plus de 6 millimètres d'épaisseur, qui, placée dans les mêmes circonstances que les lames de mica et de sulfate de chaux, a donné naissance à des phénomènes fort remarquables et analogues à ceux que j'ai déjà décrits.

Je me suis d'abord assuré que ce fragment de cristal ne modifie pas la lumière directe, en l'examinant soit avec un rhomboïde de carbonate de chaux, soit à l'aide de la pile de glaces; dans le premier cas, en effet, les

deux images du cristal sont blanches et de la même intensité, et dans le second, on ne voit pas la moindre trace de couleurs; mais aussitôt que le cristal est traversé par des rayons préalablement réfléchis, l'un quelconque de ces deux moyens d'observation nous fait apercevoir des ondes colorées plus ou moins larges et plus ou moins régulières, dont les mouvements sont subordonnés à ceux qu'on donne au cristal.

Quoique la plaque que j'ai employée paraisse très-pure à l'œil nu, on découvre, à l'aide du rhomboïde, des points où les lames dont elle se compose sont très-irrégulièrement disposées. Cette circonstance pouvant porter à penser que les couleurs sont elles-mêmes en partie produites par un éparpillement irrégulier de la lumière dans l'intérieur du cristal, je l'ai fait polir de manière que ses deux faces opposées sont planes et à peu près parallèles; dans cet état, je l'ai placé devant l'objectif d'une lunette prismatique : en examinant ensuite le Soleil, la Lune, ou des objets terrestres, j'ai vu que l'interposition de la plaque n'altère en aucune manière la netteté des deux images, et qu'elles sont l'une et l'autre de même intensité; ce qui prouve à la fois que le cristal ne modifie pas les rayons directs, et que les inégalités de son tissu intérieur n'occasionnent point de diffusion.

Afin de répéter avec cette plaque de cristal de roche la plupart des expériences que j'avais d'abord faites avec les lames de mica ou de sulfate de chaux, j'ai disposé un miroir de verre non étamé et bien poli, de telle sorte que les rayons du Soleil fissent avec sa surface un angle de 35° environ; j'ai dirigé ensuite une lunette prismatique

à l'image réfléchie de cet astre, et, en la faisant tourner, je l'ai bientôt amenée à la position où elle semble avoir perdu la propriété de doubler les objets. En plaçant immédiatement après le fragment de cristal devant l'objectif, j'ai vu la seconde image reparaître, mais avec une couleur rouge très-foncée, tandis que la première, qui d'abord était blanche, s'est teinte de la couleur complémentaire du rouge; du reste, les bords des deux soleils étaient tout aussi bien terminés que lorsqu'on les observait directement.

Jusqu'à présent cette expérience ne diffère de celles que j'avais faites avec des lames de mica ou de sulfate de chaux, qu'en ce que j'ai employé un corps d'une nature différente et beaucoup plus épais. Mais on doit se rappeler qu'en faisant tourner la lame de mica devant l'objectif de la lunette prismatique, on voyait la seconde image disparaître après chaque quart de révolution. Un mouvement analogue donné au cristal de roche n'a apporté au contraire aucun changement, ni dans la couleur ni dans l'intensité des deux images[1]. Après m'être assuré de ce fait, j'ai fixé le cristal devant l'objectif de la lunette, et en faisant tourner ensuite tout l'appareil je n'ai pas eu de peine à reconnaître que pendant une *demi-révolution* l'une et l'autre image parcourent toute la série des couleurs prismatiques. Ainsi, le soleil rouge est successivement devenu orangé, jaune, jaune verdâtre, vert bleuâtre et violacé; la lunette avait alors déjà fait un demi-tour : le mouvement, continué dans le même

1. Ceci tient à ce que la plaque dont je me servais avait été coupée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre.

sens, a fait passer l'image violette au rouge, à l'orangé, et ainsi de suite. Dans les mêmes circonstances, le deuxième soleil qui, au point de départ, était teint de jaune verdâtre complémentaire du rouge, devenait successivement vert, violacé, rouge, orangé, et enfin jaune; et comme cette couleur est la plus lumineuse, elle devait correspondre au violet dont l'autre image était teinte au même instant. Du jaune on passait de nouveau au jaune verdâtre, et ensuite à toute la série des couleurs prismatiques, pendant que la lunette faisait sa seconde demi-révolution.

La simple inspection des deux soleils montrait avec évidence que leurs couleurs étaient toujours complémentaires, mais la lunette prismatique fournissait le moyen de le prouver par une expérience directe. En effet, les deux images qu'on aperçoit avec cet instrument étant d'autant plus séparées que le prisme intérieur où elles se forment est plus rapproché de l'objectif, il me suffisait de ne les écarter qu'à moitié, car alors la partie commune aux deux disques restait toujours parfaitement blanche pendant une révolution complète de la lunette, tandis que les deux segments qui débordaient étaient successivement teints, et à deux reprises différentes, de toutè la série des couleurs prismatiques.

En profitant de la facilité qu'on a, avec la lunette prismatique, de faire plus ou moins empiéter les deux images du Soleil, on peut comparer entre elles les intensités des différentes parties de son disque. En effet, s'il est évident, d'après ce que j'ai dit plus haut, qu'en plaçant le bord du soleil rouge sur le bord du soleil verdâtre,

on doit obtenir un segment blanc, il n'est pas moins certain que cette neutralisation des couleurs n'aura lieu, quand on amènera le bord d'un des deux soleils sur le centre de l'autre, que dans le cas où ces deux portions du disque de cet astre seraient originairement de même intensité. Il est facile de concevoir en effet que pour que deux faisceaux colorés puissent former du blanc par leur superposition, il ne suffit pas qu'ils soient complémentaires en couleur, il faut de plus qu'ils le soient en intensité. Je n'entrerai pas aujourd'hui dans de plus grands détails à cet égard, parce que je me propose de réunir dans un Mémoire particulier que j'aurai bientôt l'honneur de présenter à la Classe, les expériences que j'ai faites pour mesurer l'intensité de la lumière, tant par la méthode que je viens d'indiquer que par des moyens analogues, et que j'aurai alors l'occasion de parler du degré d'exactitude qu'on peut attendre de ces divers procédés.

J'ai décrit précédemment les changements de couleur qu'on observe dans les rayons dépolarisés par des lames de mica ou de sulfate de chaux, lorsque la lumière les traverse sous des inclinaisons différentes; le cristal de roche présente des phénomènes analogues. Dans le premier cas cependant on aperçoit des couleurs sous toutes les inclinaisons, et leur succession est très-régulière : dans celui-ci, à peine s'est-on éloigné d'un petit nombre de degrés de la position perpendiculaire, que les deux images, qui d'abord étaient vivement colorées et d'une seule teinte, se rapprochent l'une et l'autre du blanc et sont traversées par des bandes étroites de diverses nuances : quoi qu'il en soit, en ne tenant compte que

de ce qu'on voit dans les incidences peu éloignées de la perpendiculaire, tandis qu'une des images, la rouge par exemple, passera successivement au violacé, au vert, au jaune et au rouge, etc., l'autre image se teindra des couleurs complémentaires de celles-là.

Si le mouvement de la plaque de cristal de roche est tellement dirigé, qu'elle reste toujours perpendiculaire au plan dans lequel se réfléchissent les rayons polarisés, on arrive bientôt à une position dans laquelle on n'aperçoit qu'une image avec le rhomboïde. Au reste, ce que cette observation présente de remarquable, c'est qu'en faisant faire une révolution complète à la lame dans son propre plan, on ne verra pas reparaître le second faisceau de rayons, qui était cependant si brillant lorsque la lumière polarisée traversait le cristal presque perpendiculairement.

Lorsque la lame interposée est oblique à la fois au plan de polarisation et aux rayons réfléchis, elle dépolarise complétement la lumière, puisque le rhomboïde présente deux images qui sont blanches et de la même intensité, quelle que soit la position de la lame dans son plan, pourvu qu'on n'altère pas l'angle qu'elle forme avec l'horizon ou avec les rayons qui la traversent.

Ainsi, dans une première position, la plaque de cristal de roche n'imprime aucune nouvelle propriété aux rayons polarisés qui la traversent.

Dans une autre position, qui ne diffère de la précédente qu'en ce que la lumière polarisée rencontre le cristal sous une incidence plus rapprochée de 90°, les rayons de diverses couleurs sont dépolarisés en diffé-

rents sens; on a vu enfin qu'il est possible de placer la même plaque de telle sorte, qu'elle agisse de la même manière sur les molécules de diverses couleurs dont se compose un rayon blanc.

Pour m'assurer que les rayons polarisés reçoivent une modification permanente dans leur passage à travers une plaque de cristal de roche, je ne les ai reçus sur le rhomboïde qu'après leur avoir fait préalablement traverser plusieurs lames plus ou moins épaisses de verre ordinaire; mais les phénomènes ont été absolument les mêmes que lorsqu'on examinait les rayons immédiatement après leur sortie du cristal de roche. On peut également reconnaître par le même moyen, que, dans leur réflexion sur les miroirs métalliques, ces rayons ne perdent aucune de leurs propriétés, si l'on excepte cependant les positions et les inclinaisons particulières des miroirs, pour lesquelles les rayons polarisés ordinaires sont eux-mêmes modifiés en partie. Ainsi la lumière réfléchie sur un miroir de verre non étamé et sous un angle de 35° environ, ressemble par ses propriétés à l'un des faisceaux dans lesquels se partage celle qui traverse un rhomboïde de carbonate de chaux; mais cette même lumière, en passant à travers certaines plaques de cristal de roche, est modifiée une seconde fois, et acquiert des propriétés permanentes qui la distinguent en même temps et de la lumière ordinaire, et de celle qui a été polarisée par les moyens qu'on a employés jusqu'ici. Les détails dans lesquels je vais entrer ne laisseront, j'espère, aucun doute sur ce résultat.

Qu'on divise un faisceau de lumière directe à l'aide

d'un rhomboïde de spath d'Islande; les deux rayons qui en résulteront seront blancs et de la même intensité, soit que la lumière incidente tombe sur le spath après avoir préalablement traversé la plaque de cristal de roche, soit que les rayons ne passent au travers de la plaque qu'après avoir été partagés en deux faisceaux distincts par l'action du rhomboïde. Dans le premier cas, en effet, les phénomènes doivent avoir lieu comme si la plaque n'y était point, puisqu'elle ne semble pas agir sur la lumière non polarisée; dans le second, quoique les rayons soient déjà modifiés à leur sortie du rhomboïde, comme ils suivent toujours leur première direction, on ne doit observer rien de remarquable.

Pour reconnaître, par conséquent, si la lumière a changé de nature, il faut la soumettre à l'action d'une nouvelle substance douée de la double réfraction; je supposerai qu'on emploie un second rhomboïde de carbonate de chaux. Or, les deux rayons qui en sortant du premier rhomboïde entrent immédiatement dans le second, ne donnent, comme on sait, que deux images lorsque les sections principales sont parallèles ou perpendiculaires; tandis que si ces mêmes rayons traversent la plaque de cristal de roche avant leur entrée dans le second rhomboïde, ils se partageront toujours en quatre faisceaux colorés, respectivement complémentaires, quelles que soient d'ailleurs les positions des sections principales. Il résulte de là qu'à la sortie du premier rhomboïde, chaque image est formée de rayons polarisés dans le même sens, tandis qu'après avoir traversé la plaque de cristal de roche, les molécules de diverses couleurs dont se com-

posent les deux faisceaux blancs ont leurs pôles dirigés vers différents points de l'espace. Si les rayons verts de la première image sont, par exemple, polarisés par rapport au plan du méridien, les rayons complémentaires, dans cette même image, auront reçu la modification diamétralement opposée. Dans le second faisceau, ce seront au contraire les molécules rouges qui auront leurs pôles situés dans le plan du méridien, tandis que les rayons verts seront polarisés par rapport à un plan perpendiculaire à celui-là.

On se rappelle qu'un des plus beaux résultats auxquels M. Malus a été conduit dans ses expériences, c'est que si après avoir disposé verticalement, par exemple, la section principale d'un rhomboïde de carbonate de chaux, on reçoit les deux faisceaux émergents que ce plan renferme sur un miroir de verre et sous une inclinaison de 35° environ, celui qui provient de la réfraction ordinaire se comporte comme la lumière non modifiée, tandis que l'autre traverse le verre en totalité et n'éprouve aucune réflexion : si nous supposons maintenant que sans rien changer à cette disposition, on interpose, sous l'inclinaison convenable, la plaque de cristal de roche entre le rhomboïde et le miroir réfléchissant, aucune image ne disparaîtra, puisque alors, ainsi que je l'ai dit plus haut, les diverses molécules lumineuses dont les deux faisceaux se composent ne sont pas polarisées dans un seul sens. Les rayons verdâtres de la première image et les rayons rouges de la seconde, étant polarisés de la même manière, échapperont au même instant à la réflexion partielle ; mais alors les images qu'on apercevra sur le miroir

seront l'une rouge et l'autre verte. Du reste, il est évident que si, sans changer la position de la plaque, on fait tourner le rhomboïde sur lui-même, les images réfléchies par le miroir passeront successivement, à chaque demi-tour, par toutes les couleurs prismatiques, avec cette particularité que les faisceaux ordinaire et extraordinaire auront toujours des teintes complémentaires.

Ainsi, tandis qu'il résultait des expériences de M. Malus, qu'un miroir de verre éclairé toujours par la même quantité de lumière blanche, et sous une inclinaison constante, peut cependant, suivant sa position, donner un libre passage à tous les rayons ou en réfléchir un certain nombre, on voit qu'on peut conclure de celles que je viens de rapporter, qu'il est possible de donner aux rayons une telle modification, qu'un même corps diaphane recevant également, sous une inclinaison déterminée, la même quantité de lumière, soit teint à chaque demi-révolution, tant par transmission que par réflexion, de toute la série des couleurs prismatiques.

Dans les expériences que je viens de rapporter, le sens de la dépolarisation des molécules diversement colorées ne dépendait pas de la position de la lame de cristal de roche dans son propre plan[1]; mais comme dans le mica et le sulfate de chaux la position de la section principale avait une influence marquée sur l'apparition et sur l'intensité de la deuxième image, je crus qu'il serait important de rechercher si la propriété de dépolariser diversement les rayons différemment colorés n'appartient qu'aux

1. Ceci tenait à la position particulière de son axe.

seules substances cristallisées. Or, je ne tardai pas à trouver des corps qui jouissent de ces mêmes propriétés à des degrés plus ou moins saillants, et qui cependant ne sont point cristallisés. J'ai entre autres une plaque de flint-glass un peu prismatique, de 0m.085 de côté, dont la plus grande épaisseur est égale à 0m.008, et qui, dans tous ses points, dépolarise les rayons; mais comme cet effet n'a lieu, dans les différentes parties de la plaque, qu'en la mettant dans diverses positions, il est probable qu'elle est très-irrégulièrement composée dans son intérieur, quoiqu'à l'œil nu elle paraisse bien pure. C'est sans doute aussi par suite de ces inégalités que la plaque, dans quelques points, semble dépolariser les rayons blancs en masse, tandis que dans d'autres elle agit, comme le cristal de roche, de différentes manières sur les molécules de couleurs diverses, ce qui donne des teintes complémentaires aux deux images prismatiques. Entre autres moyens de faire ces expériences, voici celui qu'on peut employer sans difficulté.

Si l'on examine un objet quelconque à travers deux prismes doués de la double réfraction, on apercevra, comme on sait, quatre images, excepté dans le cas où leurs sections principales seront parallèles ou perpendiculaires; mais, dans cette dernière circonstance, il semble, d'après les idées qu'on s'est faites de la modification particulière qu'a éprouvée la lumière en traversant le premier cristal, qu'on ne pourra, en général, faire reparaître les deux autres images, qu'en plaçant entre les deux prismes un milieu doué de la double réfraction; de plus, en faisant tourner ce milieu sur lui-même,

on doit trouver quatre positions à angles droits dans lesquelles on n'apercevra que deux images, pourvu toutefois que les faces du cristal interposé soient à peu près parallèles : cependant la plaque de flint-glass dont je viens de parler présente précisément ces mêmes résultats, quoiqu'elle ne jouisse pas de la double réfraction. Dans quelques points, les deux images auxquelles son interposition donne naissance sont blanches ; dans d'autres, elles ont des teintes complémentaires, mais alors les images principales sont elles-mêmes colorées : toujours, au reste, cette plaque de flint-glass se comporte, par rapport aux rayons polarisés, comme si elle était cristallisée, puisque les nouvelles images disparaissent à chaque quart de révolution. Pour que cette dernière partie de l'expérience réussisse, il est indispensable de regarder toujours par la même portion de la plaque, car elle ressemble à ces substances cristallisées qui, par une circonstance quelconque, ont des parties contiguës dont les axes de réfraction ne sont pas parallèles.

J'avais pensé à proposer cette réapparition des images comme un moyen très-propre à reconnaître à la fois l'existence de la double réfraction dans les substances cristallisées et la direction des axes, parce qu'on aurait pu l'employer sur les plus petits fragments naturels, lors même que les faces opposées auraient été parallèles ; mais puisqu'une plaque de flint-glass satisfait aux mêmes conditions, il en résulte que cette méthode ne serait pas parfaitement sûre.

Je passe maintenant à quelques phénomènes qui sont liés aux précédents, parce que pour les produire il faut

également employer de la lumière polarisée, mais qui en diffèrent sous plusieurs rapports.

J'ai déjà fait remarquer (p. 41, 45, 50) que dans le mica et le sulfate de chaux, un changement d'épaisseur entraîne toujours un changement dans la nature des couleurs dépolarisées. J'ai pensé qu'il serait important de rechercher si, dans une substance beaucoup plus compacte, telle que le cristal de roche, le même effet n'aurait point lieu. Pour cela, j'ai pris une plaque très-pure de ce cristal, et je l'ai fait polir régulièrement, de manière qu'une de ses faces est à peu près plane et l'autre sensiblement convexe. Comme cette espèce de lentille, dans sa partie la plus mince, a plus d'un millimètre, et qu'à partir de là et en allant vers le centre, cette épaisseur varie très-rapidement, je m'attendais à ne pas y apercevoir des anneaux colorés du genre de ceux que Newton a décrits dans son *Optique*. Et en effet, en regardant, à travers la lentille, de la lumière non polarisée, soit à l'œil nu, soit à l'aide de prismes de flint-glass ou de carbonate de chaux, on ne voit pas la plus légère trace de couleurs. J'ai présenté ensuite la même lentille à de la lumière réfléchie par un miroir de verre; mais alors, en l'examinant avec un prisme de carbonate de chaux, les deux images étaient ou de la même teinte, ou d'intensités très-inégales, suivant les positions des sections principales du prisme ou de la lentille. Lorsque les images étaient inégalement brillantes, on les voyait bordées l'une et l'autre de très-belles séries d'anneaux colorés.

En laissant le prisme dans une position constante, il suffisait de faire faire à la lentille un quart de révolution

autour de son centre, pour que les deux images, d'abord très-inégales, devinssent de la même intensité. On pro duisait le même effet, la lentille restant immobile, en faisant faire un quart de révolution au prisme; dans ces deux cas, les séries d'anneaux disparaissent en même temps sur chaque image. Pour les voir s'évanouir et renaître quatre fois, il suffit que la lentille ou le prisme fassent une révolution complète autour de leurs centres.

Il est facile de voir, d'après ces seules circonstances, que le phénomène que je viens de décrire dépend des dépolarisations qu'éprouvent les rayons diversement colorés aux différentes épaisseurs de la lentille. Il ne sera peut-être pas inutile de dire que les anneaux sont si rapprochés les uns des autres, qu'ils ne deviennent bien visibles que lorsque l'angle réfringent du prisme de carbonate de chaux est un peu considérable. Si l'on observait par conséquent avec un prisme achromatisé ou à travers les faces opposées et parallèles d'un rhomboïde, on ne verrait aucune trace des anneaux, quoique d'ailleurs les deux images fussent bien écartées. Le rhomboïde jouit, aussi bien que le prisme, de la propriété de séparer les rayons diversement modifiés; mais cette seule circonstance ne suffit pas pour que les anneaux soient distincts; il faut en outre que leurs orbites n'empiètent pas trop les unes sur les autres, et le prisme seul, en déviant inégalement les rayons différemment colorés, peut produire ce dernier effet : c'est par la même raison qu'avec la pile de glaces qui jouit de l'unique propriété de tamiser les rayons diversement polarisés, on n'aperçoit pas ces anneaux.

Si nous supposons que, sans rien changer à la disposition de l'expérience précédente, on examine la lentille de cristal de roche avec un prisme de verre ordinaire, on apercevra sur l'un de ses bords une série d'anneaux qui, toutes choses égales, sera d'autant plus sensible, que le prisme aura une plus grande force dispersive. Cette série, toujours moins apparente, au reste, que celles qu'on voit avec un prisme de carbonate de chaux, disparaît quatre fois, comme ces dernières, pendant une révolution complète de la lentille.

Je ne me suis pas attaché à compter les anneaux, parce que le nombre de ceux qu'on aperçoit est d'autant plus considérable que le prisme de carbonate de chaux est plus éloigné de l'objectif et que son angle est plus ouvert. On les voit avec la même netteté, soit qu'on se serve d'un prisme de spath calcaire ou d'un rhomboïde et d'un prisme de verre superposés. Leur étendue et leur vivacité ne me paraissaient pas changer sensiblement, dans quelque sens que je fisse varier l'angle formé par la surface du cristal et par les rayons incidents. (Ceci est particulier à la lentille dont je me servais dans cette expérience.)

La grande régularité de ces anneaux ne permet guère de supposer qu'ils dépendent d'un défaut d'homogénéité dans la masse de la substance. Le cristal paraît, non-seulement de la plus grande pureté à l'œil nu, mais on ne peut jamais, et dans aucune position, y apercevoir, soit avec un rhomboïde de spath calcaire, soit avec une pile de glaces, les couleurs vives et irrégulières que les mêmes moyens développent dans beaucoup d'autres fragments de cristal de roche.

Pour étudier ensuite l'influence que la plus ou moins grande courbure des lentilles peut avoir sur les diverses circonstances du phénomène, je me suis procuré un grand nombre de ces plaques convexes-concaves de cristal de roche dont se servent les lapidaires pour faire des médaillons. En les soumettant aux épreuves que je viens de décrire, j'ai reconnu que toutes forment des anneaux avec de la lumière polarisée. Dans quelques plaques, on en voit des traces, même à la simple vue; dans d'autres, il suffit, pour les apercevoir, de regarder à travers un rhomboïde de carbonate de chaux, ou même à travers un prisme de verre ordinaire; pour certaines plaques, au contraire, les orbites des divers anneaux sont tellement serrées, qu'on ne les aperçoit pas, même avec un prisme de spath d'Islande; mais, dans ce cas, on verra les anneaux se montrer, si l'on joint à ce premier prisme un autre prisme de verre ordinaire qui augmente sa force dispersive [1].

Toutes choses d'ailleurs égales, le nombre des anneaux et la largeur de leurs orbites sont d'autant plus considérables, qu'on examine les cristaux de plus loin. Aussi parvient-on par là à apercevoir des bandes à des épaisseurs où le médaillon, vu de plus près, ne présentait pas la plus légère trace de couleur. En m'aidant de toutes les précautions qui contribuent à rendre les anneaux très-apparents, c'est-à-dire en employant, pour éclairer les lentilles, de la lumière complétement polarisée ou réfléchie

1. Dans certaines lentilles, on aperçoit les anneaux dont il s'agit, par transmission, même en les éclairant avec de la lumière non polarisée. (Note ajoutée depuis la lecture du Mémoire.)

par un miroir de verre sous une inclinaison de 35°, et regardant ensuite avec un prisme de carbonate de chaux auquel était joint un prisme de flint-glass dont l'angle est de 45°, j'ai aperçu, dans tous les prismes de cristal de roche, des lignes colorées parallèles à l'arête qui termine leur angle, quoique pour quelques-uns d'entre eux cet angle fût de 25°. En plaçant l'œil à une assez grande distance des prismes, on voit les bandes colorées se succéder les unes aux autres, avec des intervalles obscurs intermédiaires et très-étroits, dans des points où les cristaux ont près d'un centimètre d'épaisseur.

Dans plusieurs de mes médaillons, une variation dans l'angle sous lequel les rayons polarisés rencontrent leurs surfaces, produit de grands changements dans le nombre des anneaux visibles, dans leurs diamètres et la largeur de leurs orbites. J'ai entre autres une plaque sur laquelle on voit les anneaux aux deux côtés opposés, même dans des incidences perpendiculaires.

Supposons qu'en partant de cette position, on incline de plus en plus la plaque par rapport aux rayons lumineux; si le mouvement est dirigé dans un certain sens, on verra les anneaux, sur les deux côtés de la plaque, augmenter de largeur, diminuer de diamètre et venir successivement se perdre dans une tache centrale qui acquerra ainsi toutes sortes de teintes. Il semble, au premier aspect, que si, en partant de la position primitive, on donne à la plaque un mouvement qui soit dirigé en sens contraire du premier, on devra apercevoir un effet analogue, puisque, dans les deux cas, le cristal sera placé symétriquement par rapport aux rayons qui le traversent; cependant on

ne tardera pas à reconnaître que, dans cette seconde circonstance, les anneaux, loin de se rapprocher du centre, s'en éloignent en se resserrant, mais d'une petite quantité. En un mot, si pour une première position du cristal, la marche des anneaux vers le centre résulte d'un mouvement en avant, ce sera un mouvement en arrière qui produira le même effet lorsqu'on aura transporté à droite le côté qui d'abord était à gauche, et cela, quoique la forme du cristal soit parfaitement régulière. J'ai insisté sur cette particularité remarquable, parce qu'elle sert à établir une nouvelle ligne de démarcation entre ces anneaux colorés et ceux que Newton a décrits dans le deuxième livre de son Optique; car ces derniers (ceux du moins qui se forment entre deux lentilles peu convexes) augmentent de diamètre de la même manière, quelle que soit la direction du mouvement. Il est presque inutile de dire que, dans toutes les expériences dont je viens de parler, les anneaux colorés sont d'autant mieux terminés, que le cristal sur lequel ils se forment a été plus régulièrement travaillé, et qu'il est plus exempt, dans son intérieur, de ces stries qui, sur d'autres plaques, semblent être la cause première des couleurs qu'on y découvre quand elles sont traversées par des rayons polarisés. Quant aux anneaux réfléchis, on les aperçoit dans les mêmes circonstances que les anneaux transmis, avec cette différence cependant, dont il est facile de trouver la cause, qu'il n'est pas nécessaire que la lumière ait été polarisée avant de tomber sur le cristal.

RÉSUMÉ

Un rayon de lumière directe se partage constamment en deux faisceaux blancs et de la même intensité dans son passage à travers un rhomboïde de carbonate de chaux, ainsi qu'Érasme Bartholin l'a observé le premier.

Si l'on soumet la lumière dont se compose un quelconque de ces faisceaux, à l'action d'un second rhomboïde, on reconnaît qu'elle ne ressemble plus à de la lumière directe, puisque, dans certaines positions de la section principale de ce deuxième cristal, elle n'éprouve plus la double réfraction. La découverte de cette belle propriété est due à Huygens.

M. Malus a trouvé depuis, que, dans leur réflexion sur les corps diaphanes, les rayons sont modifiés d'une manière analogue, en sorte que l'un quelconque des deux faisceaux en lesquels la lumière se divise, dans son passage à travers un cristal doué de la double réfraction, ressemble parfaitement à la lumière qui serait réfléchie par un plan de verre convenablement placé, et sous un angle de 35° environ.

On voit enfin, d'après les expériences que j'ai rapportées, qu'on peut, en outre, donner aux rayons une telle modification, qu'ils ne ressemblent plus ni à la lumière directe ni aux rayons polarisés ordinaires : ces nouveaux rayons se distingueront de la lumière polarisée, en ce qu'ils fournissent constamment deux images en traversant un rhomboïde, et de la lumière ordinaire, par la propriété qu'ils ont de donner toujours deux faisceaux complémentaires, mais dont les couleurs varient avec la position de

la section principale du cristal à travers lequel on les fait passer.

Un rayon de lumière directe, en tombant sur un corps diaphane, abandonne à la réflexion partielle une partie de ses molécules. Un rayon polarisé est transmis en totalité, abstraction faite de l'absorption, lorsque le corps diaphane est situé d'une certaine manière par rapport aux côtés des rayons. Les diverses molécules colorées dont se compose un rayon blanc, lorsqu'il a éprouvé la modification particulière dont il s'agit ici, ne se réfléchissent que successivement et les unes après les autres, dans l'ordre de leurs couleurs, pendant que le corps diaphane tourne autour du rayon en faisant toujours le même angle avec lui.

Par conséquent, si l'on fait tourner un miroir de verre autour d'un faisceau de lumière directe, et si l'on n'altère pas leur inclinaison mutuelle, la quantité de rayons transmis ou celle de rayons réfléchis sera la même dans toutes les positions; mais si le faisceau est déjà polarisé, et si, de plus, l'angle d'incidence est de 35°, on trouvera deux positions diamétralement opposées, dans lesquelles le miroir ne réfléchira pas une seule molécule de lumière. Si nous supposons enfin que, toutes les autres circonstances restant les mêmes, le miroir soit éclairé par un faisceau de lumière blanche déjà modifié par une plaque de cristal de roche, il sera successivement teint, à chaque demi-révolution, de toute la série des couleurs prismatiques, tant par réflexion que par réfraction, avec cette particularité, qu'au même instant ces deux classes de couleurs sont toujours complémentaires.

Les expériences que j'ai rapportées prouvent encore qu'il se forme sur les substances cristallisées des anneaux ou des bandes diversement colorées, qui ne dépendent pas uniquement des changements d'épaisseur, comme les anneaux colorés décrits par Newton.

On voit enfin que, puisque la plaque de flint-glass, dont j'ai parlé plus haut, ne double pas les images, il existe des corps qui, n'ayant pas la double réfraction, se comportent par rapport aux rayons polarisés, comme s'ils étaient doués de cette propriété.

NOTES

SUR

LES PHÉNOMÈNES DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE

[Le procès-verbal de la séance du lundi 20 mars 1812 de la Classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut, contient ce passage :

« M. Biot lit une note sur quelques phénomènes dépendants de la polarisation de la lumière par réflexion et par réfraction.

« M. Arago annonce avoir fait en partie les mêmes observations et demande que la Classe fasse constater qu'ils les a consignées dans les registres de l'Observatoire.

« MM. Burckhardt et Bouvard sont chargés de cet examen. »

Le procès-verbal de la séance suivante, du lundi 6 avril, s'exprime en ces termes :

« M. Arago dépose sur le bureau le registre où il a consigné ses Notes sur les phénomènes de la polarisation de la lumière, dont il a parlé dans la séance précédente, et qui ont été paraphées au sortir de la séance par MM. Burckhardt et Bouvard, commissaires nommés à cet effet; il en résulte que la déclaration faite par M. Arago est de la plus exacte vérité. »

Ce sont les Notes dont il est question dans les deux

procès-verbaux ci-dessus mentionnées qui sont imprimées ici pour la première fois conformément au manuscrit dont tous les feuillets portent la mention suivante : « Paraphés par nous nommés commissaires de l'Institut, ce 30 mars 1812 à quatre heures quarante minutes de l'après-dînée. BOUVARD, BURCKHARDT. »]

Les couleurs qu'on aperçoit sur les verres rayés, vues par réflexion et sous une inclinaison convenable, sont polarisées.

Les couleurs transmises, dans les mêmes circonstances, se décomposent, au contraire, en deux images de même intensité, quand on les examine avec un prisme de spath calcaire.

(Il faut se rappeler que dans le phénomène des anneaux colorés, les couleurs transmises sont polarisées sous le même angle et de la même manière que les couleurs réfléchies[1].)

Dans le phénomène des anneaux colorés, les deux portions de lumière colorée complémentaire dont se composaient les rayons blancs, avant de rencontrer les objectifs, suivent des routes différentes, mais sont polarisées de la même manière.

Dans le phénomène des verres rayés, la portion de lumière colorée qui se réfléchit est bien polarisée par réflexion, mais la portion complémentaire (?) et transmise ne semble point modifiée.

Lorsque les traits du verre sont assez profonds et

1. Voir précédemment le Mémoire sur les couleurs des lames minces, p. 14.

convenablement espacés, on aperçoit à droite et à gauche de l'image principale une suite non interrompue d'images prismatiques, soit par réflexion, soit par transmission.

Ces images prismatiques sont polarisées par réflexion, dans les mêmes circonstances que l'image principale, mais par transmission la lumière dont elles se composent ne semble pas modifiée.

En faisant tomber de la lumière déjà polarisée sur un verre rayé, on aperçoit toujours les images prismatiques qui accompagnent l'image principale, quoique la position du verre par rapport aux rayons soit celle dans laquelle il ne se réfléchit pas une seule molécule de lumière. (Répéter cette expérience.)

« Rayer une plaque de cristal d'Islande ou de tout autre milieu doué de la double réfraction, et examiner si les images prismatiques seront polarisées comme dans le verre ordinaire et quelle que soit la position des raies par rapport à l'axe de réfraction du cristal (images diffractées et réfléchies). »

Si l'on examine, sous l'inclinaison convenable, une lumière réfléchie par un miroir à travers un verre rayé, les images diffractées dont l'image principale est accompagnée ne seront pas dépolarisées, comme on aurait pu s'y attendre.

Les anneaux colorés formés autour du point de contact d'un miroir de verre et d'un miroir métallique, vus par réflexion et sous l'inclinaison convenable, sont polarisés.

Les anneaux qui entourent le point de contact de deux verres sont aussi polarisés.

(Essayer si ces deux classes d'anneaux sont polarisées sous la même inclinaison.)

Les anneaux colorés semblent uniquement formés aux dépens de la lumière qui se serait partiellement réfléchie sous l'influence que la seconde lentille a eue sur les rayons. Du moins on rend compte par là de l'éclat toujours croissant des anneaux à mesure que les rayons visuels deviennent de plus en plus inclinés à la surface des verres sur lesquels on les aperçoit. Cette supposition explique aussi pourquoi les anneaux transmis sont polarisés comme les anneaux réfléchis.

Si les anneaux colorés se forment sur la surface inférieure du premier verre, ils seront, d'après la supposition précédente, entièrement polarisés, soit que ce premier verre repose sur un verre semblable ou sur un miroir métallique.

Si les anneaux se forment sur la première surface du second miroir, ils devront, ce me semble, être polarisés si ce miroir est de verre, dans les mêmes circonstances qu'un rayon de lumière ordinaire. Mais lorsque le miroir est métallique, les anneaux ne devront être polarisés que sous l'inclinaison où les miroirs métalliques polarisent entièrement la lumière. (Ainsi, dans cette supposition, l'observation de la disparition des anneaux pourrait servir à déterminer l'angle sous lequel les métaux polarisent la lumière.)

Lorsqu'on place deux objectifs superposés dans une telle position par rapport à un faisceau de rayons pola-

risés, qu'aucune molécule de lumière ne doive se réfléchir, on ne voit des anneaux ni par réflexion ni par réfraction. Ce fait, qui pouvait se déduire immédiatement d'une des observations précédentes, prouve encore que les anneaux se forment uniquement aux dépens de la lumière partiellement réfléchie.

En assimilant, ainsi que l'a fait Newton, les couleurs des corps à celles des anneaux colorés, il semblerait naturel de supposer qu'en plaçant un de ces corps dans cette position où les objectifs ne donnent point d'anneaux, on ne devrait pas non plus voir de couleurs, ou que, du moins, on devrait les voir sensiblement atténuées, ce qui est contraire à l'expérience. (Répéter cette expérience, surtout avec des corps minces colorés..... Superposer plusieurs de ces corps minces, si un d'entre eux ne donnait pas des couleurs assez vives.)

(*a*)

Un moyen très-simple de s'assurer qu'il ne se forme point d'anneaux lorsque les rayons qui tombent sur deux objectifs superposés sont polarisés et placés par rapport aux surfaces des verres de manière qu'ils n'éprouvent pas la réflexion partielle, consiste à placer une lentille de verre ordinaire sur une lentille ou en général sur une plaque quelconque de spath d'Islande. En effet, lorsque le spath d'Islande sera en dessous, on ne verra qu'une seule série d'anneaux, mais elle sera visible sous toutes les inclinaisons; lorsque le carbonate de chaux sera, au

contraire, en dessus, on apercevra deux séries d'anneaux colorés; mais si l'on fait tourner la lentille autour de son centre, on verra, sous toutes les inclinaisons, les séries s'affaiblir successivement après chaque quart de révolution. Lorsque l'angle des rayons réfléchis et de la surface de jonction des deux verres superposés est de 35° environ, on verra les séries disparaître successivement deux fois pendant une révolution entière des lentilles : la série A disparaissant dans une position quelconque, la série B s'évanouira, quand à partir de là on aura fait faire un quart de révolution aux deux verres. Après un second quart de révolution, la série A disparaîtra de nouveau, et ce sera la série B qui s'évanouira encore après trois quarts de révolution. Sous des inclinaisons moindres que 35°, les anneaux ne disparaîtront pas entièrement, mais ils s'affaibliront, comme dans les inclinaisons plus grandes, d'autant plus qu'on se rapprochera davantage des positions et de l'inclinaison sous laquelle ils s'évanouissaient d'abord successivement.

En examinant les anneaux transmis, sous l'inclinaison convenable, on apercevra des phénomènes entièrement analogues à ceux que je viens de décrire. Il est d'ailleurs facile de voir que, dans ces deux cas, la disparition successive des anneaux tient à ce que, dans chaque quart de révolution, un des faisceaux lumineux fournis par la plaque de cristal d'Islande se trouve dans un accès de facile transmission et échappe à la réflexion partielle.

Lorsqu'on place un miroir de verre sur un miroir métallique, on aperçoit des anneaux colorés autour du point de contact, tout aussi bien que lorsqu'on superpose deux

miroirs de verre. La couleur de la tache centrale dépend du degré de rapprochement ou de pression qu'on fait subir aux miroirs. On ne voit d'ailleurs qu'une seule série d'anneaux, quelle que soit l'inclinaison sous laquelle on regarde dans l'objectif. Supposons maintenant qu'on place un corps opaque quelconque sur la surface supérieure du premier verre : la première ombre de ce corps se multipliera en se réfléchissant successivement et à plusieurs reprises de la première à la seconde surface du verre. Cela posé, si l'on amène la première ombre sur la première série d'anneaux, on apercevra de nouvelles suites se projeter sur les ombres suivantes; les centres et les couleurs successives des anneaux seront les mêmes dans toutes les suites, sous quelque inclinaison qu'on les regarde; les défectuosités que les irrégularités du verre apportent dans les anneaux de la première série se répètent sur toutes les séries suivantes et secondaires.

[Le texte paraphé par Burckhardt et Bouvard s'arrête ici; le même registre contient un peu plus loin les pages suivantes, qui se rapportent évidemment aux expériences dont il vient d'être question.]

Supposons qu'au lieu de placer, comme nous l'avons fait dans l'expérience (*a*), un morceau de cristal d'Islande sur un plan de verre, on se serve d'une plaque de cristal de roche : dans le premier cas, les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire étant sensiblement séparés, donnaient naissance à deux séries d'anneaux distinctes;

dans l'autre, les deux faisceaux suivant à très-peu près la même route ne fourniront qu'une seule série d'anneaux dans laquelle les deux espèces de rayons se trouveront mêlées. Aussi, dans quelque position qu'on place l'appareil, les anneaux seront toujours visibles. Lorsqu'à l'aide d'un prisme de spath calcaire, on examine les anneaux qui entourent le point de contact de deux lentilles superposées, on ne voit qu'une seule image des anneaux, si les rayons qui les forment se sont réfléchis sous un angle de 35° environ, et si, de plus, la section principale du prisme est parallèle ou perpendiculaire au plan de réflexion. On conçoit que lorsqu'on examinera de la même manière les anneaux réfléchis ou transmis par l'appareil dans lequel entre la plaque de cristal de roche, il faudra, outre les conditions ci-dessus, pour qu'une seule série d'anneaux soit visible, que la section principale du cristal soit perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion.

L'expérience dont je viens de parler pourrait servir à déterminer l'existence et le sens de la double réfraction dans les substances cristallisées, quelle que fût d'ailleurs leur forme extérieure. Voici la première application que j'ai faite de ce moyen.

Le mica, comme l'a observé M. Haüy, peut être aminci au point de présenter les couleurs des anneaux. Qu'on observe une plaque très-mince de mica à l'aide d'un prisme de spath calcaire; on trouvera bientôt la position où les couleurs ne sont visibles que sur une des images; si la lame de mica avait un axe de réfraction, il suffirait de la faire tourner sur elle-même pour faire paraître la seconde image prismatique, puisque alors les couleurs

seraient formées par des rayons polarisés en deux sens opposés; mais l'expérience nous apprend que la lame de mica se comporte dans ce phénomène comme une lame très-mince de verre ordinaire, en sorte que la disparition d'une des images ne dépend point de la position de la lame dans son propre plan et est uniquement liée à l'angle sous lequel les rayons lumineux rencontrent la lame de mica et à la position de la section principale du prisme dont on se sert pour les observer.

Les couleurs qu'on aperçoit sur les lames très-minces de mica sont du genre de celles que forme une lame d'air comprise entre deux verres, puisque, dans les deux circonstances, les couleurs réfléchies et transmises sous le même angle sont exactement complémentaires, comme il est facile de s'en assurer.

Les rayons lumineux qui traversent une lame très-mince de verre soufflé sont polarisés par réflexion avant que la lame ait atteint le degré de ténuité qui correspond à la première apparition des couleurs.

Le faisceau de lumière qui traverse, sous l'inclinaison convenable, une pile de glaces est polarisé par réfraction, tandis que la portion de lumière qui s'est successivement réfléchie est polarisée en sens contraire; car Malus a démontré que dès qu'il se polarise une certaine quantité de lumière par réflexion, une autre portion polarisée par réfraction traverse le corps. Si, au lieu de superposer des lames de verre d'une certaine épaisseur, on superpose des fragments soufflés très-minces, n'obtiendra-t-on pas un faisceau émergent qui sera composé à la fois de molécules polarisées dans les deux sens? Les divers éléments

de cette nouvelle pile, en agissant sur la lumière comme les plaques de verre d'une certaine épaisseur, ne polariseront-ils pas quelques rayons par réfraction, tandis que les rayons des anneaux colorés qui traversent sont polarisés par réflexion? Ne sera-ce pas à cette cause qu'il faudra attribuer les deux genres de polarisation que les corps doués de la double réfraction impriment à un même faisceau de lumière directe? Ce qui pourrait donner quelque probabilité à cette hypothèse, c'est que tous les corps dans lesquels on a aperçu un axe de réfraction sont, en effet, composés de lames superposées et, qu'en outre, pour certaines positions des lames par rapport aux rayons, les effets de la double réfraction disparaissent. Si cette conjecture est vérifiée par des expériences directes, c'est-à-dire si les lames de verre très-minces agissent à la fois sur la lumière comme lames minces et comme corps réfléchissants d'une certaine épaisseur, on pourra facilement rendre compte du phénomène le plus extraordinaire de la double réfraction, en supposant que les substances douées de cette propriété sont formées par des lames très-minces convenablement inclinées et séparées les unes des autres. Il ne restera plus ensuite qu'à expliquer la séparation des images.

MÉMOIRE

SUR

PLUSIEURS NOUVEAUX PHÉNOMÈNES D'OPTIQUE

LU LE 14 DÉCEMBRE 1812
A LA CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES DE L'INSTITUT
IMPÉRIAL DE FRANCE [1]

Il n'est pas de questions d'optique plus dignes de l'attention des physiciens que celles qui se rapportent à la théorie des anneaux colorés. On sait, en effet, que c'est sur cette théorie qu'est fondée l'explication que Newton a donnée de la coloration des corps. M. Berthollet a montré, il est vrai, dans la belle introduction qu'il a placée à la tête de son Traité sur l'art de la teinture, que cette manière d'envisager le phénomène est sujette à beaucoup de difficultés ; mais, indépendamment de toute application, il est d'autant plus important de rechercher la cause de la décomposition qu'éprouve la lumière aux différentes épaisseurs d'un corps diaphane, qu'elle paraît tenir de plus près à la nature des rayons et à celle des forces qui agissent sur eux. Je me suis occupé depuis longtemps de ces recherches dans le peu de moments de

1. Le manuscrit de ce Mémoire imprimé ici pour la première fois, a été paraphé à chaque feuillet par Delambre, secrétaire perpétuel de la Classe des sciences de l'Institut.

loisir que me laisse l'astronomie, et je suis parvenu à quelques résultats qui, par leur nature, me semblent propres à éclaircir la question. J'ai déjà eu, à deux reprises différentes, l'honneur d'entretenir la Classe de ce travail. Dans le premier Mémoire, je montrai que tous les rayons de lumière ne concourent pas indistinctement à la formation des anneaux, ou que du moins ceux qui sont décomposés par l'action de la lame mince éprouvent, sous certains angles, une modification que, d'après les recherches de Malus, on était accoutumé à regarder comme la propriété exclusive des rayons réfléchis[1]. En vertu de cette modification, la lumière qui forme les couleurs transmises est polarisée sous la même inclinaison et dans le même sens que les rayons réfléchis. Ce résultat, déjà fort étrange en lui-même, le devint encore davantage lorsque Malus eut montré que, dans toutes les autres circonstances, les rayons qui traversent les corps diaphanes sont polarisés en sens contraire de ceux qui se réfléchissent.

Les expériences que Newton a rapportées dans le troisième livre de son traité d'Optique montrent que les épaisseurs où les corps diaphanes développent les couleurs des premiers ordres sont extrêmement petites. Les minéralogistes ont prouvé d'ailleurs que les cristaux sont formés de lames minces superposées. Le sens du clivage est assez souvent tellement visible qu'on peut, à l'aide d'un instrument tranchant, et quelquefois avec moins d'effort, séparer les lames consécutives. Cette cir-

1. Voir p. 16 et 17 de ce volume.

constance prouve qu'elles ne sont pas tout à fait en contact ; car dans ce cas des forces peu considérables ne pourraient probablement pas les séparer. Mais si l'intervalle de deux lames consécutives est du même ordre que celui dans lequel se forment les anneaux, pourquoi n'aperçoit-on pas la moindre trace de couleur dans la plupart des cristaux ? Cette question, dont on aurait pu faire une objection contre les conclusions générales que Newton avait déduites de ses expériences sur l'influence des épaisseurs, a été l'origine du second de mes Mémoires[1]. J'y ai décrit les moyens à l'aide desquels on aperçoit des couleurs et des anneaux distincts, même dans le cristal de roche dont les lames sont cependant tellement rapprochées, que les minéralogistes n'ont pu jusqu'à présent déterminer le sens de leur superposition. J'ai montré, en outre, qu'à l'aide du mica, du sulfate de chaux, du cristal de roche taillé dans certains sens, et même de quelques plaques de flint-glass, on peut donner aux rayons de lumière des propriétés *permanentes* qui les distinguent à la fois de la lumière directe et des rayons polarisés ordinaires. Je proposerai d'appeler ces nouveaux rayons, *rayons à axes colorés*, pour les distinguer de ceux qui n'ont été polarisés que par réflexion ou dans leur passage à travers un cristal doué de la double réfraction, que, par opposition, on pourrait appeler *rayons à axes blancs*.

La pile de glaces dont Malus s'est servi avec tant d'avantages dans l'examen des phénomènes de la polarisation de la lumière, jouit, comme on sait, de la pro-

1. Voir précédemment p. 36 à 74.

priété de laisser passer très-librement les rayons polarisés qui rencontrent ses faces d'une certaine manière, tandis qu'après un quart de révolution de la pile un très-grand nombre de rayons sont réfléchis sur les surfaces de ses divers éléments, quoique les inclinaisons sur les faces soient les mêmes que dans le premier cas. Or, un fragment de sulfate de baryte jouit précisément des mêmes propriétés, à la coloration près, et la ressemblance est telle que, pendant la nuit et en visant à un plan faiblement éclairé, on aurait de la peine à distinguer le cristal de l'instrument, du moins par les effets. La position dans laquelle le cristal ne laisse passer que des rayons rouges très-faibles correspondrait à la position de la pile, pour laquelle il ne passe presque pas de lumière, et après un quart de révolution, la même analogie se retrouverait dans les deux appareils; car la quantité de rayons transmis augmenterait de la même manière dans les deux cas. La pile de glaces produit les mêmes phénomènes dont je viens de parler d'une manière d'autant plus complète qu'elle se forme d'un plus grand nombre d'éléments; les cristaux de sulfate de baryte transmettent de même deux couleurs d'autant plus vives et plus dissemblables qu'ils se composent d'un plus grand nombre de lames superposées, ou qu'ils sont plus épais.

Les effets varient rapidement dans la pile de glaces avec l'inclinaison des rayons sur ses faces. Dans un cristal de spath pesant, les rayons qui traversent le même système de lames dans divers sens produisent aussi des phénomènes très-différents. Du reste, il ne faut pas s'attendre à voir cette même analogie se continuer dans de plus petits

détails; car dans l'un des cas il y a deux faisceaux de rayons différemment polarisés qui parcourent un système de lames très-peu distantes, tandis que dans l'autre il n'y a qu'un faisceau de lumière et qui traverse des plaques de verre bien plus éloignées.

Dans le Mémoire que je suis obligé de citer souvent, parce que les phénomènes auxquels se rapportent ces recherches sont analogues à des phénomènes dont j'ai déjà donné la description, j'ai montré que les propriétés des rayons à axes colorés tiennent à ce que les molécules de diverses couleurs ont leurs axes de polarisation dirigés dans différents plans. Mais en vertu de quelles forces le rayon se trouve-t-il en quelque sorte déformé, dans son passage à travers plusieurs cristaux? La réponse à cette question ne sera pas difficile, si l'on peut prouver que les lames dont ces cristaux se composent sont assez éloignées pour que les phénomènes de la double réfraction et de la réflexion partielle de la lumière puissent avoir lieu sur chacune d'elles séparément. Il est clair, en effet, qu'à l'aide d'un assortiment de cristaux de carbonate de chaux convenablement disposés, il serait possible de former artificiellement un rayon de lumière qui ressemblerait parfaitement à un rayon polarisé par tout autre moyen. Il suffirait pour cela de joindre ensemble le rayon rouge qui proviendrait du premier cristal, par exemple, avec le rayon orangé fourni par un second cristal dont la section principale ferait avec celle du premier un certain angle; d'ajouter à ces deux rayons le rayon jaune ou vert qui sortirait d'un troisième cristal dont la section principale ferait avec celle des deux premiers des angles

azimutaux d'un certain nombre de degrés, et ainsi de suite; bien entendu que le nombre et la position des rhomboïdes qu'il faudrait employer dans cette expérience devraient varier avec la nature du cristal qu'on aurait employé pour transformer le rayon polarisé ordinaire en un rayon à axes colorés. Or, le moyen compliqué et inexécutable de former cette dernière classe de rayons que je viens d'indiquer peut se trouver dans tous les cristaux possibles, pourvu qu'on admette qu'il y a des systèmes de lamelles disposés dans certains sens, et assez éloignés pour que le rayon puisse dans l'intervalle éprouver une réflexion partielle semblable à celle qui la décompose en ses éléments colorés dans le phénomène des anneaux. Je me suis donc attaché à rechercher les preuves de l'existence de ces lamelles et le sens de leur superposition, je ne dis pas dans le mica et le sulfate de chaux dont les feuillets peuvent être si aisément séparés, mais dans le cristal de roche qui a, comme on sait, un tissu tellement serré qu'on n'a pas pu jusqu'à présent apercevoir le sens du clivage. Tel est le but de la plupart des expériences que je vais rapporter.

Je me suis procuré un fort grand nombre de lentilles et de prismes de cristal de roche taillés dans toutes sortes de sens, et après les avoir successivement éclairés à l'aide de la lumière polarisée, je les ai examinés au moyen de cristaux doués de la double réfraction; tous ont indistinctement présenté, soit des anneaux, soit des bandes colorées. Dans quelques-uns, ces bandes se voyaient à l'œil nu; pour d'autres, il fallait s'aider d'un prisme de verre ordinaire; mais, dans ces deux cas, les couleurs étaient

extrêmement vives sur les deux images lorsqu'on examinait les plaques à l'aide d'un rhomboïde de spath calcaire. Dans quelques lentilles, qui d'ailleurs paraissaient ressembler aux autres sous tous les rapports, il fallait combiner ensemble les deux moyens que je viens de citer pour faire naître des couleurs ; car le rhomboïde pris isolément montrait deux images parfaitement blanches. Mais si, au rhomboïde qui a la propriété de faire passer dans deux images distinctes les bandes diversement polarisées, on ajoute un prisme bien dispersif qui sépare leurs orbites en vertu de l'inégale réfrangibilité des rayons diversement colorés, on apercevra des anneaux dans tous les cas.

Ces bandes varient-elles seulement avec l'épaisseur matérielle du cristal sur lequel elles se forment, ou dépendent-elles plus particulièrement des intervalles qui séparent ses différentes lames? Telle est la deuxième question qu'il faut examiner.

Or dans une de mes lentilles qui est plane d'un côté et très-convexe de l'autre, j'aperçois, sous une certaine inclinaison, une bande rouge, par exemple, qui semble parallèle à son bord extérieur, et qui par conséquent correspond à des points d'une épaisseur constante ; mais par cela seul qu'on fait un peu varier l'angle sous lequel les rayons polarisés traversent la lentille, le parallélisme dont je viens de parler n'a plus lieu, et, dès lors, la bande rouge, sans cesser d'être continue, va du bord où le cristal est assez mince jusqu'au centre où son épaisseur est plus grande de près d'un millimètre. Il résulte de là qu'un même anneau peut être formé à toutes les épaisseurs du cristal comprises entre 1 millimètre et 2 millimètres,

ou, en d'autres termes, que la règle que Newton a donnée pour les anneaux ordinaires ne doit pas être appliquée à ceux que j'ai découverts dans les cristaux, parce que ceux-ci ne dépendent pas seulement des épaisseurs matérielles du corps. S'il était nécessaire de justifier encore davantage mon résultat, j'observerais que pour un certain mouvement de la lentille, les anneaux viennent tous se perdre à son centre et y former successivement des taches colorées fort larges et d'une seule teinte; et comme la convexité de la lentille est fort grande, il en résulte que la même couleur, sous une inclinaison déterminée, peut être dépolarisée à une infinité d'épaisseurs très-différentes les unes des autres. J'ai prouvé d'ailleurs incontestablement dans une autre circonstance que ces couleurs ont le caractère de celles qui sont formées sur un milieu très-rare et compris entre deux autres corps plus denses, soit parallèles, soit prismatiques.

La plus singulière des expériences du second livre de l'Optique, au jugement même de Newton, est celle où cet illustre physicien montre que le prisme fait voir des anneaux colorés dans des plaques minces qui, à l'œil nu, paraissent diaphanes, blanches, uniformes et partout également éclairées; l'explication qu'il en donne est très-simple et satisfait à toutes les circonstances du phénomène.

Il ne sera pas aussi aisé d'expliquer le moyen que je vais rapporter d'augmenter aussi considérablement le nombre des anneaux visibles, puisque je n'ai besoin pour cela que de les faire passer à travers un milieu à faces parallèles. La méthode de Newton n'augmente le nombre

des anneaux que dans le sens de l'angle réfringent du prisme ; celle que je vais décrire les rend également bien terminés dans tous les sens, comme s'il y avait dans chaque azimut un prisme particulier qui contribuât à produire le phénomène de Newton.

J'examine, à l'aide d'un prisme achromatique de spath calcaire et sous l'angle de 35° environ, les anneaux colorés qui entourent le point de contact de deux lentilles de verre superposées. Je tourne le prisme jusqu'à ce qu'une seule série d'anneaux soit visible. J'interpose ensuite entre les lentilles et le prisme une plaque de cristal de roche à faces parallèles et taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre. On voit alors les deux séries d'anneaux quelle que soit la position du cristal interposé, pourvu que les rayons rencontrent ces faces presque perpendiculairement.

A l'œil nu ou à l'aide du spath calcaire on n'aperçoit que six anneaux distincts. Après l'interposition de la plaque de cristal, ces mêmes six anneaux se voient également dans chaque suite, mais ils sont alors entourés d'une multitude d'anneaux de moindre largeur, de plus grands diamètres et qui ont même centre que les premiers. J'appellerai cette nouvelle série d'anneaux la suite supplémentaire, et je ferai remarquer en outre qu'à l'œil nu l'interposition de la lame de cristal n'augmente aucunement le nombre des anneaux qu'on aperçoit.

Lorsqu'on fait faire de petites oscillations au cristal interposé autour de la position perpendiculaire, on voit la série supplémentaire d'anneaux augmenter de grandeur dans tous les sens ; les bandes contiguës se resserrent

et finissent enfin par disparaître complétement; mais il est remarquable qu'elles ne disparaissent que par parties. Ce sera toujours du côté où la face du cristal prolongée rencontrerait les objectifs que les anneaux supplémentaires se déplaceront d'abord et avec le plus de rapidité. La portion diamétralement opposée sera celle que ce mouvement affectera la dernière. Par conséquent, les deux suites ont même centre dans les incidences perpendiculaires; mais aussitôt que le cristal est déplacé, cette circonstance n'a plus lieu, puisque la partie vers laquelle il s'incline s'agrandit plus tôt et plus rapidement que l'autre, tandis que la série principale est immobile.

Il résulte de là et de ce que j'ai rapporté dans une autre circonstance, qu'en visant, sous l'inclinaison convenable, à des anneaux colorés, à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux et à travers les faces opposées du cristal de roche, on aperçoit :

1° Deux séries principales d'anneaux qui résultent de la décomposition en deux faisceaux dans l'intérieur du rhomboïde des rayons polarisés qui formaient des anneaux à l'œil nu et que la plaque de cristal a dépolarisés;

2° Deux séries supplémentaires dont les positions sont liées, jusqu'à un certain point, à celles du cristal interposé et qui ne peuvent évidemment être produites que par les interstices compris entre les diverses lames matérielles du cristal;

3° Enfin, deux séries d'anneaux produites dans l'intérieur du cristal lui-même par la lumière blanche polarisée que réfléchissent les diverses surfaces des objectifs.

Du reste, ces propriétés semblent appartenir exclusi-

vement aux sections perpendiculaires à l'axe du prisme hexaèdre; car un fragment poli dans deux sens opposés ne présentait les phénomènes que je viens de décrire que perpendiculairement à cet axe, quoique, dans les deux cas, les rayons dussent passer à travers les mêmes molécules matérielles. On observe, au reste, des résultats absolument analogues lorsqu'on interpose entre les lentilles et le rhomboïde de cristal d'Islande des lames de mica ou de sulfate de chaux.

Quelques personnes ayant trouvé les expériences sur les rayons à axes colorés que je présentai à la Classe dans la courant de l'année dernière assez intéressantes pour désirer d'avoir des appareils à l'aide desquels on pût les répéter dans les leçons publiques, j'ai fait faire par plusieurs artistes un petit instrument qui n'est qu'une modification de celui dont Malus se servait dans la polarisation simple et qui se prête à la fois avec la même commodité à ces deux genres d'observation. Les lames de cristal de roche taillées perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre forment l'accessoire principal de cet instrument. Afin d'épargner aux personnes qui les travaillent l'ennui du tâtonnement qu'elles auraient dû faire pour déterminer les épaisseurs qui conviennent le mieux à la production du phénomène, je m'étais chargé moi-même de cette recherche; mais j'ai trouvé que ces épaisseurs peuvent varier entre des limites très-étendues sans que les couleurs dépolarisées dans différentes directions cessent d'être très-vives : la lame, ou pour mieux dire, la plaque dont je m'étais servi dans les expériences que j'ai détaillées dans mon Mémoire de 1811 avait 6 milli-

mètres (p. 54). J'ai maintenant à ma disposition des fragments de cristal qui ont 2 et même 3 centimètres d'épaisseur et avec lesquels on voit également des couleurs très-apparentes. L'un d'eux surtout, qui a plus de 18 millimètres d'épaisseur, présente les phénomènes de la polarisation colorée presque avec autant d'intensité que la première plaque mince dont je m'étais servi.

J'ai été curieux de rechercher si, en employant des fragments aussi épais de cristal de roche, on n'augmenterait pas, comme avec des plaques plus minces, le nombre des anneaux colorés qu'on aperçoit avec un rhomboïde de carbonate de chaux. Or, j'ai aperçu tous les mêmes phénomènes dont j'ai donné plus haut la description, en me servant d'une plaque de plus de 3 centimètres d'épaisseur. Quand je visais à des anneaux colorés circulaires, ceux qui d'abord étaient visibles à la simple vue étaient entourés, après l'interposition du cristal, de nouveaux anneaux qui avaient même centre que les premiers. Lorsque ceux-ci étaient elliptiques, la série supplémentaire à laquelle l'interposition du cristal donnait naissance était également elliptique, ce qui montre la dépendance des deux suites; mais, en outre, on voyait une série d'anneaux formée par la lumière blanche réfléchie par les lentilles et qui changeait très-rapidement de place quand on remuait le cristal. Cette suite peut être observée de très-près, en plaçant l'œil, par exemple, à 3 centimètres de la surface de la plaque. Or, dans cette situation, on peut apercevoir une bande de même teinte qui aille d'un bord du cristal au bord opposé et qui se prolonge, par conséquent, dans une étendue de

3 ou 4 centimètres; mais les rayons qui aboutissent aux différents points de cette bande colorée traversent évidemment des épaisseurs très-inégales de la partie matérielle du cristal sans que pour cela la teinte dépolarisée ait changé de nature.

QUATRIÈME MÉMOIRE

SUR

PLUSIEURS NOUVEAUX PHÉNOMÈNES D'OPTIQUE

LU LE 28 DÉCEMBRE 1812
A LA CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES DE L'INSTITUT
IMPÉRIAL DE FRANCE [1]

Dans l'explication que Newton a donnée des couleurs des corps naturels, il a supposé que les molécules matérielles sont séparées les unes des autres par des intervalles absolument vides ou du moins remplis d'un fluide extrêmement rare. Je m'attendais, d'après cela, à trouver que les rayons qui rendent les corps visibles seraient polarisés à peu près sous le même angle que la lumière que réfléchit leur première surface, du moins lorsque les rayons incidents ne partiraient que d'un seul point. L'expérience m'a appris cependant que ceux des rayons lumineux qui forment la couleur propre d'un corps ne présentent en aucune manière les propriétés de la lumière polarisée par réflexion. Pour faire cette observation je me suis servi quelquefois de plaques de porcelaine parfaitement polies.

1. Ce Mémoire n'a pas encore été imprimé; chacun des feuillets du manuscrit est paraphé par Delambre, secrétaire perpétuel de la Classe. — Les trois premiers Mémoires sont placés précédemment, pages 1, 36, 85.

Je visais à une flamme éloignée et je me plaçais sous l'inclinaison où les rayons réfléchis étaient complétement polarisés; un petit mouvement donné à la porcelaine faisait dévier assez sensiblement le faisceau réfléchi pour que je ne visse plus que les deux images du miroir; comme j'étais extrêmement près de l'angle de la polarisation complète, je croyais que ces deux images auraient des intensités très-inégales; or, quoique j'aie employé dans ces essais, pour analyser la lumière qui venait ainsi de l'intérieur de la porcelaine, les moyens que j'ai décrits dans une autre circonstance [1], il m'a toujours semblé que cette lumière n'est point modifiée. On pourrait croire d'abord que, pour que les rayons se polarisent, il est nécessaire que la face sur laquelle ils tombent soit polie et ait une certaine étendue; mais ces deux conditions sont remplies pour la première surface. J'ai prouvé, d'ailleurs, que la lumière atmosphérique est polarisée, et ici chaque rayon n'a pu être réfléchi que par la surface d'une seule molécule d'air.

En général, on voit que, dans la position dont je viens de parler, les rayons qui viennent du point lumineux à l'œil après une seule réflexion ont rencontré les molécules matérielles du corps sous l'angle qui correspond à leur polarisation et qu'elles devraient avoir éprouvé cette modification. Il serait possible, à la rigueur, que la plus grande partie de la lumière n'arrivât à l'œil qu'après plusieurs réflexions sur les facettes diversement inclinées dont on pourrait imaginer que le corps est formé. Mais

1. Voir p. 12 de ce volume.

sans parler des autres objections qu'on pourrait faire contre cette hypothèse, on voit qu'un pareil corps dépolariserait complétement les rayons lumineux qui le traverseraient, ce qui n'arrive pas. Du reste, pour faire cette expérience d'une manière décisive, il suffira d'éclairer le corps à l'aide d'un faisceau déjà polarisé. En me servant de rayons peu intenses j'ai aperçu les mêmes phénomènes qu'avec la lumière directe, mais je sens qu'il serait convenable d'employer un faisceau plus vif, et c'est pour cette raison que je n'entrerai aujourd'hui dans aucun détail sur la conséquence remarquable à laquelle cette expérience paraît conduire [1].

La dépolarisation des rayons, dans certaines circonstances, peut servir aussi à résoudre une question d'autant plus intéressante qu'elle tient de plus près à la théorie newtonienne. On sait, en effet, que, dans cette théorie, la lumière qui se réfléchit totalement à la surface inférieure d'un corps plus dense que le milieu environnant, sort du corps. Supposons maintenant qu'on mette en dessous de la surface réfléchissante un cristal doué de la double réfraction, et qu'on établisse leur contact parfait à l'aide d'un milieu plus réfringent que le cristal inférieur, à l'aide de quelques gouttes de baume de Tolu, par exemple; si la lumière qu'on emploie n'est pas polarisée, elle se décomposera, à son entrée dans le cristal inférieur, en deux faisceaux polarisés en sens contraires, et qui donneront, par conséquent, deux images de même

1. Voir t. VII des *OEuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*, p. 401 et 443, deux passages relatifs à la polarisation par réfraction de la lumière qui fait voir les corps.

intensité dans leur passage à travers un rhomboïde, tout aussi bien que la lumière ordinaire, en sorte que cette observation ne conduirait à aucun résultat; mais si le faisceau incident était déjà polarisé et si après sa réflexion totale on le trouve dépolarisé, il en résultera qu'il a pénétré dans le cristal inférieur. Dans le cas où, pour toutes les positions de ce cristal, le rayon resterait polarisé après sa réflexion totale, il faudrait en conclure qu'il ne sort pas du corps ou que du moins il ne traverse le cristal, doué de la double réfraction, que dans une de ces épaisseurs extrêmement petites où, d'après mes anciennes expériences, ces cristaux se comportent comme des lames de verre ordinaire.

Dans la partie de mon Mémoire précédent qui se rapportait aux couleurs ou aux anneaux qu'on aperçoit dans les cristaux doués de la double réfraction, je me suis attaché à montrer que, dans la plupart des phénomènes, ces cristaux se comportent comme si les lames dont ils sont formés étaient séparées les unes des autres; j'ai surtout insisté sur l'exemple du sulfate de baryte [1], et j'ai montré qu'en regardant une plaque qui réfléchit de la lumière polarisée, à l'aide de certaines faces de cette substance, on la voit ou d'un blanc légèrement jaunâtre, ou d'un rouge violacé, après chaque quart de révolution du cristal. Si la lumière réfléchie par la plaque était polarisée en sens contraire de la première, on la verrait rouge dans la position du cristal où d'abord elle était jaune, et réciproquement. Il résulte de là qu'un faisceau direct, vu

1. Voir précédemment p. 88.

à l'aide d'un cristal de sulfate de baryte, conserve toujours la même teinte dans toutes les positions du cristal, par la raison que les deux faisceaux en lesquels la lumière se partage en le traversant éprouvent des modifications contraires. Aussi, si l'on décompose cette lumière à l'aide d'un second cristal doué de la double réfraction, trouve-t-on que les deux faisceaux ont des teintes complémentaires.

Les expériences que j'ai rapportées dans mon Mémoire du 11 août 1811 avaient été faites, pour la plus grande partie, à l'aide d'une plaque de cristal de roche taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre. Aussi ne transformait-elle les rayons polarisés en rayons colorés que dans les incidences peu éloignées de la perpendiculaire[1]. Sous des inclinaisons un peu obliques la lumière n'éprouvait aucune modification dans le cristal, quelle que fût d'ailleurs sa position, pourvu que ses faces restassent perpendiculaires au plan de réflexion. On aurait pu croire, d'après cela, que la plaque en tournant autour du rayon se comporterait comme un simple miroir de verre, et cependant, dans ces positions où ce miroir ne dépolariserait que très-peu de lumière, les rayons qui passaient au travers de la plaque de cristal se décomposaient en deux faisceaux de même intensité, en sorte que cette plaque se comporte comme un assemblage de miroirs de verre qui ne seraient pas tout à fait en contact. J'ai déjà indiqué ce résultat dans le Mémoire que je viens de citer et je ne le rapporte ici que pour réunir,

1. Voir p. 58.

sous un même point de vue, les expériences qui me semblent prouver que le phénomène de la réflexion partielle peut avoir lieu entre les diverses lames dont les cristaux sont formés.

Huygens a remarqué le premier qu'un rayon de lumière qui a déjà traversé un rhomboïde de carbonate de chaux n'éprouve pas la double réfraction lorsqu'il tombe sur un second rhomboïde dont la section principale est perpendiculaire ou parallèle à la section principale du premier. Il résulte de là qu'on doit généralement voir quatre images d'un objet quelconque à travers deux cristaux de carbonate de chaux, excepté dans les positions particulières que nous venons d'indiquer. Les quatre images ne sont d'ailleurs également vives que dans le seul cas où les sections principales des cristaux font entre elles un angle de 45°.

Supposons qu'on interpose un cristal quelconque doué de la double réfraction entre deux rhomboïdes de spath calcaire placés déjà dans cette position où la lumière qui les traverse ne fournit que deux faisceaux émergents. Si la section principale du nouveau cristal est perpendiculaire ou parallèle aux sections principales des premiers, on ne verra jamais que deux images à travers leur ensemble ; mais dans toutes les autres positions de cette section principale le nombre de faisceaux émergents que fournira un rayon de lumière directe sera de huit : bien entendu qu'ils ne seront également intenses que dans le seul cas où la section principale du cristal intermédiaire fera des angles de 45° avec les sections principales des deux premiers rhomboïdes. Il est clair, en effet, que les

deux rayons en lesquels se partage le rayon de lumière directe dans son passage à travers le premier cristal éprouvent eux-mêmes la double réfraction en traversant le second, ce qui porte leur nombre à quatre. Mais ces rayons se partageant chacun en deux dans le troisième rhomboïde, on obtient définitivement huit faisceaux. Il faut cependant remarquer que le nombre des images ne pourra être égal à huit que dans le cas où le cristal intermédiaire serait, comme les deux autres, assez épais pour opérer à lui seul la séparation distincte des images. Si le cristal intermédiaire, quoique doué de la double réfraction, est fort mince, le maximum des images qu'on pourra apercevoir ne sera que de quatre. Supposons, par exemple, que sa section principale fasse un angle de 45° avec celles des deux autres cristaux. Les deux rayons en lesquels la lumière s'est divisée dans le premier cristal se partageront aussi chacun en deux faisceaux également intenses en traversant le second; mais, comme sa double réfraction est très-faible, par hypothèse, ces faisceaux suivront à très-peu près la même route ou coïncideront deux à deux. Maintenant, par un raisonnement analogue on prouvera que chacun de ces quatre faisceaux doit éprouver, dans le troisième cristal, une double réfraction qui le partage en deux rayons également intenses; mais les images en lesquelles se partagent les deux rayons qui suivent la même route doivent coïncider, en sorte que le nombre total des images à la sortie du troisième cristal ne pourra être égal qu'à quatre. Il est clair, au reste, que dans ce cas comme lorsque le cristal est très-épais, on trouvera quatre positions pour lesquelles on ne verra que deux

images si la section principale de ce cristal est perpendiculaire ou parallèle à celle des deux autres. De là résulte un moyen très-simple de reconnaître quand une substance quelconque jouit de la propriété de doubler les images, quelle que soit d'ailleurs sa forme. Il suffit pour cela de placer la substance entre deux rhomboïdes convenablement disposés, et de rechercher si les rayons lumineux qui, dans leur passage au travers du premier cristal, avaient perdu la propriété de se partager en deux faisceaux dans le second, n'auront pas recouvré cette propriété en traversant la substance interposée.

On conçoit que cet essai puisse servir à déterminer les axes de réfraction d'un corps en le plaçant entre deux rhomboïdes convenablement disposés; mais on peut faire l'expérience encore plus simplement et à l'aide d'un seul rhomboïde. On sait, en effet, qu'un rayon de lumière qui s'est réfléchi sur un miroir de verre et sous l'angle de 35° environ, ne se partage plus constamment en deux faisceaux. Si la section principale du cristal sur lequel on le reçoit est située dans le plan de réflexion, ce rayon se réfracte ordinairement, tandis qu'il suit seulement la route extraordinaire dans le cas où la section principale est perpendiculaire à ce même plan.

Supposons qu'on fixe le cristal dans cette dernière position et qu'on interpose le corps mince dont on veut déterminer les axes, de manière que le rayon réfléchi par le miroir le traverse avant de tomber sur le cristal. Si la section principale du corps interposé est perpendiculaire au plan d'incidence, le rayon réfléchi, en le traversant, ne donnera aussi qu'un rayon extraordinaire;

mais lorsque deux cristaux ont leurs sections parallèles, le rayon extraordinaire du premier cristal est réfracté extraordinairement dans le second, en sorte qu'on verra la même image avant et après l'interposition du corps.

Supposons, en second lieu, que la section principale du corps interposé soit parallèle au plan d'incidence. Le rayon réfléchi se réfractera ordinairement; mais ce même rayon se réfractera extraordinairement en passant dans le second cristal dont la section principale est perpendiculaire à celle du premier, en sorte qu'on apercevra la même image que dans l'autre cas.

Supposons, en troisième lieu, que la section principale du corps interposé fasse un angle de 45° avec le plan de réflexion. Le rayon réfléchi par le miroir donnera, dans ce cas, deux rayons, l'un ordinaire et l'autre extraordinaire, également intenses, et qui ne suivront la même route que parce que, par hypothèse, le corps est très-mince. Quoi qu'il en soit, chacun de ces rayons fournira deux images de même intensité, dans son passage à travers le deuxième cristal, et, comme elles suivent deux à deux à très-peu près la même route, les quatre rayons se réuniront en deux faisceaux également vifs et qui formeront à la fois une image ordinaire et une image extraordinaire. Il est d'ailleurs évident que dans toutes les autres positions du corps interposé, l'image extraordinaire sera plus vive que l'image ordinaire, et cela d'autant plus qu'on se rapprochera davantage des positions où cette dernière image est complétement invisible.

Si la section principale du cristal avait été dirigée dans le plan de réflexion, le rayon réfléchi n'aurait donné

qu'une image ordinaire. Après l'interposition du corps mince, on aurait aperçu cette image, soit seule, soit accompagnée d'une image extraordinaire qui, dans les circonstances les plus favorables, peut être aussi vive qu'elle, mais qui devient nulle dans quatre positions rectangulaires du corps interposé.

C'est par cette méthode que je m'assurai que le mica, qui jusqu'alors n'avait pas été rangé par les minéralogistes au nombre des corps doués de la double réfraction, jouit de cette propriété. J'avertissais cependant que ce moyen n'est à l'abri de toute objection que lorsqu'on l'emploie pour déterminer la direction des axes d'un corps; car, dans certaines circonstances, les rayons peuvent être dépolarisés dans leur passage à travers le corps intermédiaire, quoique celui-ci n'ait pas la propriété de doubler les images [1]. Le mica lui-même présente, dans quelques circonstances, des phénomènes très-remarquables sur lesquels je n'avais pas insisté dans mes précédents Mémoires par la raison que j'avais alors plutôt en vue d'indiquer en quoi les rayons à axes colorés diffèrent des rayons à axes blancs, que de montrer quelles forces ou, pour mieux dire, quelles dispositions de lames doivent se rencontrer dans les cristaux, pour que les axes des molécules de diverses couleurs dont se compose un faisceau blanc polarisé soient dérangés de leur parallélisme. Une lame de mica ne dépolarise pas les rayons de lumière, lorsque la section principale est perpendiculaire ou parallèle au plan dans lequel ces rayons s'étaient

1. Voir p. 50 et 65.

d'abord polarisés, et en cela elle se comporte comme tous les corps doués de la double réfraction ; mais, pour que l'analogie soit complète, il faut, de plus, que les mêmes rayons, en traversant un cristal qui d'abord ne présentait qu'une seule image, se partagent en deux faisceaux d'une égale intensité, par cela seul que la section de la lame interposée, qui d'abord était située dans le plan de polarisation, lui sera maintenant inclinée de 45°. L'égalité d'intensité ne peut se retrouver dans le mica, puisque, dans les positions dont il s'agit, les deux images sont vivement colorées, comme je l'ai prouvé ailleurs, et que des lumières dissemblables ne peuvent être comparées sous ce point de vue.

Du reste, cette expérience présentait plutôt une modification qu'une exception aux lois de la double réfraction. J'avais remarqué, en outre, que l'image secondaire diminue graduellement d'intensité et finit même par disparaître complétement lorsque la lame interposée devient de plus en plus mince, comme si elle perdait peu à peu la propriété de dépolariser les rayons. Or, j'ai trouvé depuis des lames de mica assez épaisses qui, dans certaines positions, produisent le phénomène diamétralement opposé. En les soumettant, en effet, aux mêmes épreuves que les lames ordinaires, on trouve d'abord qu'elles ont, comme elles, deux sections perpendiculaires dans lesquelles elles ne dépolarisent pas les rayons, et deux autres sections formant, avec les précédentes, des angles de 45°, et dans lesquelles les rayons semblent repolarisés en sens contraire. C'est ainsi, par exemple, que si la position du cristal dont on se sert était telle qu'on ne vît

d'abord que l'image ordinaire, on n'apercevrait au contraire que l'image extraordinaire lorsque la section principale de la lame interposée serait inclinée de 45° par rapport à celle du cristal. On pourrait se croire autorisé à admettre, d'après cette expérience, que les lames dont il s'agit ici ont un genre de double réfraction différent de celui dont on a étudié les lois avec tant de détails dans le spath calcaire ; mais, sans s'arrêter à une supposition aussi extraordinaire, il suffira, pour expliquer la disparition de l'image principale et tous les phénomènes analogues, d'imaginer que les intervalles des diverses lames superposées dans la plaque de mica, sont tels que les seuls rayons violets, par exemple, puissent passer et que tous les autres se trouvent, suivant l'expression de Newton, dans des accès de facile réflexion ; les rayons qui forment l'autre image traversant ces mêmes intervalles suivant un autre angle à cause de la bifurcation qu'a éprouvée la lumière en pénétrant dans ce cristal pourront, d'ailleurs, évidemment ne pas se trouver dans les mêmes circonstances. On conçoit, en outre, que, si cette manière d'envisager le phénomène est exacte, l'image ne devra pas disparaître sous toutes les inclinaisons de la lame, et je me suis assuré, en effet, que, quoique la section principale du mica reste fixe par rapport au plan de polarisation, il suffit d'incliner la lame aux rayons polarisés, pour que les images ordinaire et extraordinaire disparaissent successivement. Je ne dois pas oublier de dire que, dans les positions particulières de la lame dont il s'agit ici, la disparition de l'un quelconque des faisceaux n'est complète que lorsque l'on vise à un objet peu intense;

en me servant de la flamme d'une chandelle, que j'examinais de très-près, j'ai pu m'assurer que l'image qui semble s'évanouir d'une manière absolue est réellement formée de quelques rayons violets très-peu intenses.

On sera peut-être étonné de me voir admettre que le système d'un petit nombre de lames minces espacées est capable d'arrêter entièrement la lumière qui les aurait traversées avec tant de facilité si elles avaient été en contact ou même séparées les unes des autres par des intervalles sensibles. Les expériences de Newton ont montré, il est vrai, qu'un corps mince peut réfléchir les rayons d'un certain genre et offrir au contraire un passage libre aux molécules complémentaires; mais il est assez difficile, d'après son moyen d'observation, de se faire une idée précise de l'intensité de la force réflective de ces diverses lames, parce qu'on ne peut opérer que sur de faibles lumières et qu'à cause de la variation rapide de l'épaisseur de la lame d'air, on obtient des couleurs mélangées à une petite distance du centre et qui sous-tendent de très-petits angles. S'il était possible d'amener deux verres plans à être rapprochés l'un de l'autre dans toute leur étendue d'une quantité comparable à celle qui sépare deux lentilles près de leur point de contact, la lame d'air décomposerait la même teinte dans tous ses points et l'on pourrait alors observer des images qui seraient colorées par la même force qui produit les anneaux; mais la disposition d'appareil dont je viens de parler est extrêmement difficile à obtenir, car les deux plans ne peuvent être rapprochés au point de donner les couleurs du premier ordre que lorsqu'on emploie une force très-consi-

dérable; cette force courbe les verres et alors on voit des anneaux comme lorsqu'on superposait des objectifs. Indépendamment de l'application que je me proposais de faire de cette expérience à l'exemple que j'ai rapporté de la dépolarisation de la lumière dans le mica, j'avais d'autant plus à cœur de trouver un moyen de l'essayer que quelques physiciens, guidés par des explications inexactes du phénomène des anneaux, avaient avancé que l'image d'une chandelle ne se décomposerait pas comme la lumière diffuse de l'atmosphère. Or, je me rappelais qu'on avait déjà observé que les images qui se forment entre les fêlures du cristal d'Islande sont vivement colorées. Je me suis procuré un cristal de cette substance très-pur, mais dans lequel on voyait une fêlure bien régulière. Je l'ai fait tailler de manière que la face extérieure était bien inclinée par rapport à la fracture. Chacun des faisceaux en lesquels la lumière se décompose à son entrée dans le cristal, éprouve une seconde double réfraction en traversant la petite lame, en sorte qu'on a, à la sortie, quatre faisceaux bien distincts dans lesquels les rayons de différentes couleurs sont séparés et forment des spectres; mais ces rayons, à cause même de leur inclinaison mutuelle, traversent l'espace compris entre les deux surfaces qui comprennent la fracture suivant des lignes inégales et doivent, par conséquent, se trouver successivement dans des accès de facile réflexion; aussi le spectre d'un des faisceaux extraordinaires, par exemple, au lieu d'être, comme les spectres prismatiques ordinaires, formé d'une série de couleurs contiguës, se composera de plusieurs bandes colorées et séparées les unes des

autres par des intervalles obscurs. Ainsi, dans une certaine position, ce spectre est formé d'une image rouge, d'un intervalle obscur, d'une image verte qui elle-même est suivie d'un autre intervalle sans lumière auquel succède une image violette. Si l'on donne un petit mouvement au prisme, l'inclinaison sous laquelle les rayons traversent la lame aura changé : les rayons rouges seront, par exemple, totalement réfléchis, et le spectre sera seulement composé des autres couleurs qui elles-mêmes seront séparées par des intervalles obscurs très-larges. Le mouvement du cristal, continué dans le même sens, fera bientôt reparaître la portion rouge du spectre, tandis que plusieurs des couleurs qui étaient visibles dans la position précédente s'évanouiront. Dans tous ces cas l'image d'une chandelle sera semblable au spectre qu'on aperçoit lorsqu'on ne décompose cette image avec un prisme qu'après l'avoir fait passer préalablement à travers un verre bleu, en sorte que l'absorption produit, dans ce cas, sur les rayons transmis, le même effet que la présence de la lame. Quoi qu'il en soit, il est clair, par cette expérience, qu'un corps très-mince, convenablement disposé, peut réfléchir la totalité des rayons rouges ou de toute autre couleur qui entrent dans un faisceau blanc même très-intense, ce que je m'étais proposé de prouver. Je vais enfin terminer ce Mémoire par le récit de quelques expériences qui sont relatives à la double réfraction des corps très-minces.

J'ai prouvé ailleurs[1] que la lumière partiellement réflé-

1. Voir p. 20 et 79 de ce volume.

chie concourt seule à la formation des anneaux colorés. Il est clair alors que lorsque le faisceau incident sera placé par rapport aux deux lentilles dans cette position où aucun rayon ne se réfléchit, on ne devra voir les anneaux ni par réflexion, ni par réfraction. Parmi les divers moyens qu'on peut employer pour vérifier ce résultat, voici celui qui exige le moins d'appareil.

Qu'on place une lentille de verre sur une lentille ou en général sur une plaque quelconque un peu épaisse de cristal d'Islande. Lorsque le cristal sera en dessous, on verra des anneaux qui, sous toutes les inclinaisons, seront identiques avec ceux qu'on aperçoit autour du point de contact de deux lentilles de verre ordinaire, puisque les corps cristallisés n'impriment aucune nouvelle modification aux rayons lumineux qu'ils réfléchissent de leurs premières surfaces. Si l'appareil est renversé, les rayons lumineux traverseront le cristal d'Islande avant de tomber sur la seconde lentille, et l'on verra les deux séries d'anneaux que produisent les deux faisceaux en lesquels se partage la lumière incidente.

Or, en examinant ces deux suites sous une inclinaison de 35° environ, si l'on fait faire une révolution complète aux lentilles autour de leur centre commun, chaque série disparaîtra deux fois. Ainsi, dans les deux positions diamétralement opposées de la lentille de spath calcaire pour lesquelles sa section principale est perpendiculaire au plan de réflexion, on ne voit que la série d'anneaux qui provient de la lumière réfractée extraordinairement, tandis que les seuls anneaux que produisent les rayons réfractés ordinairement seront visibles, toutes les circonstances étant

d'ailleurs les mêmes que précédemment, lorsque la section principale du spath calcaire sera parallèle au plan de réflexion. Au reste, cette disparition des anneaux ne doit pas avoir lieu d'une manière brusque, mais chaque série sera d'autant plus faible qu'on se rapprochera davantage de la position et de l'incidence sous laquelle la disparition complète a lieu. On observera, de plus, que, lorsque la section principale de la lentille du cristal d'Islande fera un angle de 45° avec le plan de réflexion, les deux séries d'anneaux seront de même intensité.

En examinant les anneaux transmis, sous l'inclinaison convenable, on apercevra des phénomènes entièrement analogues à ceux que je viens de décrire. Il est, d'ailleurs, facile de voir que, dans les deux cas, la disparition successive des anneaux tient à ce que, après chaque quart de révolution de la lentille de spath calcaire, un des deux faisceaux qu'elle fournit se trouve dans cette position où il doit échapper à la réflexion partielle.

Substituons maintenant une plaque de cristal de roche à faces parallèles à la lentille de spath calcaire que nous avions d'abord employée, et nous trouverons que les faisceaux ordinaire et extraordinaire suivant à peu près la même route, ne fourniront qu'une seule série d'anneaux à la formation de laquelle concourront à la fois les deux espèces de rayons, ce qui la rend visible dans toutes les positions de l'appareil et sous toutes les inclinaisons.

On se rappelle que, lorsqu'on examine à l'aide d'un prisme de spath calcaire les anneaux colorés qui entourent le point de contact de deux lentilles de verre ordinaire,

on n'en voit qu'une seule image[1], si les rayons qui les forment se sont réfléchis sous un angle de 35° environ, et si de plus la section principale du prisme est parallèle ou perpendiculaire au plan de réflexion.

Si l'on emploie le même moyen pour analyser la lumière dont se composent les anneaux colorés dans l'appareil où entre le cristal de roche, il faudra, pour qu'une seule série d'anneaux soit visible, qu'outre les conditions ci-dessus, la section principale du cristal soit perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion, ou, ce qui revient au même, à la section principale du prisme de carbonate de chaux dont on se sert pour observer. Supposons qu'on parte de la position où la section principale du cristal est parallèle au plan de réflexion, auquel cas on ne voit avec le prisme que l'image ordinaire, et qu'on fasse tourner la lentille; après un demi-quart de révolution à partir de la première position, le prisme présentera deux séries d'anneaux qui seront de la même intensité. La nouvelle image s'affaiblira ensuite par degrés pendant le mouvement de la lentille et disparaîtra entièrement lorsque la section principale de cette lentille sera perpendiculaire au plan de réflexion. En effet, dans le premier cas, les anneaux qu'on aperçoit à l'œil nu sont uniquement formés aux dépens des rayons ordinaires, et ces rayons, comme on sait, ne donnent qu'une seule image dans leur passage à travers un prisme convenablement disposé. Lorsque la section principale de la lentille de cristal de roche fera un angle de 45° avec le plan de réflexion, les rayons des

1. Voir p. 12 de ce volume.

anneaux se décomposeront en deux faisceaux diversement polarisés et également vifs. Le prisme de spath calcaire, disposé comme précédemment, doit donc présenter deux images de même intensité. Enfin, lorsque, la section principale de la lentille sera perpendiculaire au plan de réflexion, les anneaux ne seront plus formés que par le faisceau de lumière extraordinaire, et ce faisceau, dans son passage à travers le prisme de spath calcaire, ne fournira qu'une image qui sera précisément celle qu'on voyait dans le premier cas. Au reste, tous ces résultats doivent s'appliquer littéralement aux anneaux qu'on aperçoit par transmission.

On conçoit facilement que le genre d'observation que je viens d'indiquer peut servir à la fois à déterminer l'existence et le sens de la double réfraction dans les substances cristallisées, quelle que soit d'ailleurs leur forme extérieure. La possibilité d'employer ce moyen à la détermination de l'axe de réfraction d'une lame très-mince de mica s'entrevoit aisément. M. Haüy a remarqué, en effet, dans son *Traité de minéralogie*, que cette substance peut être amincie au point de présenter les couleurs des anneaux. Qu'on examine une de ces lames colorées très-minces, à l'aide d'un prisme de spath calcaire, et l'on ne tardera pas à rencontrer l'inclinaison sous laquelle les couleurs ne sont visibles que sur une des images. Si la lame de mica avait un axe de réfraction, il est clair, d'après ce que nous avons dit précédemment, qu'en le faisant tourner de 45° autour de son centre, on devrait apercevoir la seconde image prismatique aussi intense que la première, quoique l'œil et le prisme fussent restés

dans la position primitive, puisque les couleurs seraient formées alors par des quantités égales de rayons polarisés en sens contraires. Or, l'observation nous apprend que les lames très-minces de mica se comportent dans ces phénomènes comme des lames très-minces de verre ordinaire, en sorte que la disparition d'une des images prismatiques colorées dépend seulement de l'angle sous lequel les rayons lumineux sont réfléchis, de leur surface, de la position de la section principale du prisme dont on se sert pour observer, et est entièrement indépendante de la position qu'a la lame dans son propre plan.

La conclusion remarquable à laquelle cette expérience conduit est qu'il n'est pas nécessaire que les éléments dont se compose un corps doué de la double réfraction jouissent eux-mêmes de cette propriété. J'étais déjà arrivé à ce résultat dans mon Mémoire du 11 août 1811 [1], mais j'avais employé un moyen d'observation qui exigeait que les feuilles de mica eussent une certaine étendue, tandis que l'expérience que je viens d'indiquer peut se faire avec des lames qui n'auraient pas même un millimètre carré. Il résulte encore de là que la double réfraction dépend de la disposition des molécules dont les corps se composent, ce qu'on aurait pu déduire, quoique d'une manière moins directe, de ce que quelques plaques de flint-glass ont des axes, tandis que des morceaux provenant du même creuset en sont totalement privés. Je dirai à cette occasion que j'ai trouvé, depuis mes premières expé-

1. Voir p. 50 de ce volume.

riences, des masses de verre de Saint-Gobain qui non-seulement ont des axes, comme tous les cristaux doués de la double réfraction, mais qui, de plus, jouissent des mêmes propriétés que le mica, le sulfate de chaux, etc., puisqu'ils transforment un rayon polarisé ordinaire en un rayon à axes colorés.

J'ai déjà eu plusieurs fois, dans le cours de ce Mémoire, l'occasion de citer l'expérience[1] à l'aide de laquelle j'ai prouvé anciennement que les rayons lumineux qui forment les anneaux colorés transmis sont polarisés comme ceux qui produisent les bandes réfléchies. Cette expérience mérite d'autant plus d'être attentivement examinée qu'elle fait exception à une règle que Malus croyait être générale et d'après laquelle les rayons transmis sont polarisés toujours en sens contraire des rayons réfléchis. Il semble même qu'elle ne puisse être expliquée autrement qu'en disant que les rayons qui forment les anneaux étaient déjà polarisés avant de tomber sur les deux lentilles, comme les rayons qui se réfléchissent.

En général, ce phénomène des anneaux nous montre des rayons qui sont polarisés sans avoir été réfléchis ou sans avoir été soumis à l'action des forces qui leur impriment cette modification. J'ai été par suite curieux d'examiner s'il ne serait pas possible d'admettre que les rayons de lumière directe sont composés de plusieurs rayons polarisés. Or, l'ensemble de deux faisceaux également vifs et polarisés en sens contraires jouit par rapport à la double réfraction des mêmes propriétés que les

1. Voir p. 14 de ce volume.

rayons de lumière directe. Quant aux nombreux phénomènes que Malus a découverts, il m'a semblé qu'ils s'expliquent bien plus complétement dans cette supposition qu'en admettant que les rayons ne se polarisent que par une action quelconque que les corps exercent sur eux.

Supposons, par exemple, qu'on fasse tomber deux rayons polarisés en sens contraires sur un miroir de verre et sous l'inclinaison de 35° environ. Pour fixer les idées nous admettrons que le premier des deux rayons est polarisé par rapport au plan du méridien et que le second le soit par rapport à un plan perpendiculaire à celui-là.

Si le plan d'incidence est parallèle au plan du méridien, les molécules du premier faisceau qui se réfléchiront sur le miroir et celles qui le traverseront conserveront leur polarisation primitive. Quant au second faisceau il traversera le verre en totalité. Ainsi, si a représente l'intensité de chacun des faisceaux et a' le nombre des molécules du premier qui se réfléchissent dans la position initiale du miroir, le faisceau transmis se décomposera dans son passage à travers un rhomboïde en deux images dont les intensités seront a et $(a-a')$.

Supposons que le plan d'incidence fasse un angle de 45° avec celui du méridien. Le miroir réfléchira $\frac{1}{2}a'$ du premier faisceau et $\frac{1}{2}a'$ du second ; et ces deux quantités égales de lumière seront l'une et l'autre polarisées par rapport au plan d'incidence. Le rayon transmis qui provient du premier faisceau se composera de $(a-a')$ molécules polarisées par rapport au plan du méridien et de $\frac{1}{2}a'$ polarisées par rapport au plan d'incidence. Le deuxième faisceau fournira de même $\frac{1}{2}a'$ molécules trans-

mises polarisées par rapport au plan d'incidence et $(a—a')$ polarisées par rapport au plan est-ouest. Donc, dans sa décomposition à travers un rhomboïde dont la section principale serait parallèle au plan du méridien, la lumière transmise donnera deux images également intenses.

Il est d'ailleurs bien facile de voir que lorsque le plan d'incidence sera dirigé vers l'ouest, on observera les mêmes phénomènes que dans le plan du méridien et que ce sera dans l'une de ces deux positions que les deux images fournies par le faisceau transmis seront le plus inégales.

Ainsi, les phénomènes de la lumière réfléchie seront absolument les mêmes, soit que le faisceau incident se compose de deux rayons polarisés en sens contraires, ou qu'étant de la lumière directe on suppose que le miroir sur lequel il tombe ait la propriété de le polariser. Quant aux propriétés de la lumière transmise, on voit qu'elles ne différeront dans les deux cas qu'en ce que si le rayon incident est formé de deux rayons déjà polarisés, les faisceaux ordinaire et extraordinaire différeront l'un de l'autre d'une quantité égale à la lumière réfléchie, tandis que, dans l'autre supposition, cette différence sera uniquement proportionnelle au nombre de rayons réfléchis.

Les deux faisceaux en lesquels se partagera un rayon de lumière ordinaire après son passage à travers une lame de verre convenablement inclinée devront, par conséquent, dans cette hypothèse, différer assez sensiblement d'intensité ; et, en effet, avec un rhomboïde bien pur, et, mieux encore, en s'aidant d'une plaque de cristal de roche, on peut facilement s'assurer que les deux images

ne sont pas égales. Au reste, il serait très-aisé de montrer par un plus grand nombre d'exemples que la plupart des phénomènes s'expliquent également bien dans les deux suppositions.

Si, après avoir disposé verticalement la section principale d'un cristal de carbonate de chaux, on reçoit les deux faisceaux qui en proviennent sur un miroir métallique et sous l'inclinaison convenable, on observera qu'ils seront assez inégaux après leur réflexion quoique d'abord ils fussent également vifs. L'absorption, comme on pouvait s'y attendre, aura d'ailleurs porté sur l'espèce de molécules que les miroirs diaphanes auraient transmises dans les mêmes circonstances. Or, lorsqu'on fait tomber un faisceau de lumière ordinaire sur un métal, l'image réfléchie se compose également de deux faisceaux inégaux ; le plus faible étant, comme d'abord, celui qui aurait traversé un miroir diaphane ; dans le premier cas il n'était pas extraordinaire qu'un des rayons fût plus affaibli que l'autre, puisqu'ils avaient originairement des propriétés différentes, mais, dans la seconde expérience, à moins qu'on ne suppose que le faisceau incident renfermait déjà des rayons polarisés, il sera difficile, pour ne pas dire impossible, de comprendre pourquoi les deux images ne sont pas également vives.

En résumé, les phénomènes de la double réfraction paraissent pouvoir s'expliquer également bien, soit qu'on suppose qu'un rayon de lumière ordinaire soit formé de deux rayons également vifs et polarisés en sens contraires, soit qu'on imagine que ses diverses molécules ne sont polarisées que par l'influence des corps qu'ils traversent.

Dans le premier cas, les propriétés contraires dont jouissent les rayons réfléchis et réfractés dépendront des propriétés analogues qui appartiennent aux deux parties du rayon direct, parties qui sont diversement tamisées par les corps diaphanes ; dans la seconde hypothèse, il faudra admettre que les forces qui produisent la réflexion et la réfraction de la lumière ont en même temps la propriété d'imprimer des modifications opposées aux molécules sur lesquelles elles agissent.

On voit enfin que le phénomène des anneaux colorés et celui de la force inégale des deux faisceaux en lesquels se décompose la lumière réfléchie par un métal, ne s'expliquent aisément que lorsqu'on suppose que les molécules dont le rayon ordinaire est formé avaient des pôles avant qu'elles fussent soumises à l'action des corps (soit qu'on imagine que ces pôles sont situés dans deux plans perpendiculaires ou qu'on veuille supposer qu'ils sont indistinctement dirigés sur tous les points de l'espace.)

MÉMOIRE

SUR

LES PUISSANCES RÉFRACTIVES ET DISPERSIVES DE CERTAINS LIQUIDES

ET DES VAPEURS QU'ILS FORMENT

LU A L'INSTITUT DE FRANCE, LE 11 DÉCEMBRE 1815 [1]

La théorie de la réfraction, envisagée sous le point de vue le plus général, est une des parties les plus importantes de l'optique, non-seulement à raison de ses nom-

1. Mémoire commun à MM. Arago et Petit, inséré en 1816 dans le tome Ier des *Annales de chimie et de physique.* — Sur ce Mémoire M. Arago a laissé la note manuscrite suivante :

« Il est établi dans ce Mémoire que le pouvoir réfringent d'un liquide est très-supérieur au pouvoir réfringent de la vapeur qui en émane; le pouvoir réfringent du soufre carburé, par exemple, étant égal à 3, comparé à celui de l'air, le pouvoir réfringent de ce liquide réduit en vapeur n'est plus que 2. On voit donc à quelle erreur Laplace s'était exposé en calculant le pouvoir réfringent de la vapeur d'eau d'après celui de l'eau liquide, et en déclarant que l'égalité de ces deux pouvoirs réfringents était ce qu'il y avait de plus naturel à admettre dans la théorie newtonienne. Les auteurs du Mémoire ont également prouvé, par leurs expériences, que le pouvoir dispersif des vapeurs est inférieur au pouvoir dispersif des liquides dont ces vapeurs proviennent. Ainsi pour le soufre carburé liquide le rapport du pouvoir dispersif au pouvoir réfringent est 0.14, et le pouvoir dispersif de la vapeur de ce corps n'est que 0.08 de son pouvoir réfringent. »

breuses applications, mais encore par les conséquences qu'on peut en déduire relativement à la nature de la lumière et aux véritables causes de ses propriétés. Aussi les physiciens qui ont développé ou soutenu les divers systèmes imaginés pour l'explication des phénomènes de l'optique se sont-ils particulièrement efforcés de rattacher la loi de la réfraction à l'hypothèse qu'ils admettaient.

Newton, en attribuant la réfraction à une attraction des corps pour la lumière, a donné de ce phénomène et de la loi à laquelle il est soumis une explication si naturelle et si claire, qu'on l'a toujours regardée comme un des principaux arguments en faveur du système de l'émission. Cependant, si l'on remarque que de toutes les conséquences générales déduites de l'hypothèse de Newton, la seule qu'on ait vérifiée jusqu'à ce jour se réduit à la loi du rapport constant des sinus d'incidence et de réfraction; si l'on observe d'ailleurs que cette loi peut se démontrer sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à l'idée d'une attraction, on sentira facilement qu'avant de se déterminer à adopter l'hypothèse de Newton, à l'exclusion de toutes les autres, il est indispensable d'examiner jusqu'à quel point les diverses conclusions qui en dérivent sont confirmées par l'expérience : tel est l'objet des recherches dont nous soumettons aujourd'hui une partie à la Classe. Pour en faire bien connaître le but, il est nécessaire de rappeler en peu de mots les points principaux de la théorie de la réfraction, telle que Newton l'a déduite de la supposition d'une attraction exercée par les corps sur la lumière.

Dans cette hypothèse, on conçoit aisément que lorsque les molécules dont se compose un rayon approchent du corps réfringent, l'attraction qu'il exerce sur elles change et leur vitesse et la direction de leur mouvement, et que ce mouvement redevient uniforme et rectiligne lorsque les molécules ont pénétré dans le corps jusqu'à la profondeur où l'attraction cesse d'être sensible. Le principe des forces vives, applicable dans ce cas, prouve que la vitesse que la lumière a acquise par l'effet de la réfraction est indépendante de la direction initiale du rayon, et que le rapport de cette vitesse à celle de la lumière incidente est égal au rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction.

Le même principe des forces vives donne pour mesure de l'action totale du corps sur la lumière l'accroissement du carré de la vitesse du rayon, accroissement que, pour cette raison, on désigne sous le nom de *puissance réfractive*. Cette quantité doit évidemment dépendre de la nature du corps; mais, dans une même substance, elle doit rester proportionnelle à la densité, car il est naturel de penser qu'une attraction s'exerce toujours proportionnellement à la masse, quelle que soit d'ailleurs la fonction de la distance suivant laquelle elle varie. Dans cette supposition, le pouvoir réfringent, c'est-à-dire le rapport de la puissance réfractive à la densité, ne doit plus dépendre que de la constitution chimique du corps, et rester constant quand la densité seule change.

Cette conséquence de la théorie de l'attraction n'a jamais été vérifiée, excepté dans les gaz. Mais si l'on fait attention que leur puissance réfractive est extrêmement

faible, et que par conséquent l'accroissement de vitesse qu'ils impriment à la lumière est très-petit, on s'assurera, à l'aide d'un calcul fort simple, que l'expression que la théorie newtonienne donne pour la puissance réfractive n'est pas la seule qui, dans les gaz, reste proportionnelle à la densité, mais qu'il existe une infinité d'expressions différentes de celle-là, qui toutes satisferaient à la même condition. Il en résulte donc que, bien que les gaz paraissent avoir un pouvoir réfringent indépendant de leur densité, on n'est nullement en droit d'en conclure que les corps solides et liquides jouissent de la même propriété.

Nous avons pensé que le meilleur moyen de décider complétement cette question serait de comparer le pouvoir réfringent de différents liquides à celui des vapeurs que ces liquides forment. Dans ce cas, le changement de densité est très-considérable, et l'un des corps au moins conserve une forte action sur la lumière. Nous avons donc fait choix des liquides qui, aux températures ordinaires de l'air, fournissent les vapeurs les plus abondantes. Nous avons mesuré la puissance réfractive de chacun de ces liquides et celle des vapeurs qui en dérivent; en comparant ces puissances réfractives aux densités connues des liquides et des vapeurs, il a été facile de voir si, dans chacun de ces corps, le pouvoir réfringent, c'est-à-dire l'expression analytique $\frac{i^2-1}{d}$, était indépendante de la densité.

Le résultat de nos expériences prouve rigoureusement le contraire. Elles s'accordent toutes à donner pour les vapeurs un pouvoir réfringent sensiblement moindre que celui des liquides qui les ont formées. Ainsi, pour ne

citer qu'un seul exemple, le pouvoir réfringent du soufre carburé liquide rapporté à l'air est un peu plus grand que 3, tandis que celui de la même substance à l'état de vapeur, rapporté également à l'air, ne surpasse pas 2.

Si l'on compare maintenant ce résultat à la théorie, on se trouve obligé, en admettant l'explication newtonienne de la réfraction, de supposer, ce qui du moins est une conclusion assez singulière, que l'attraction d'un même corps pour la lumière ne s'exerce pas proportionnellement à la densité. Malheureusement le nombre des substances sur lesquelles on peut opérer avec précision à l'état de vapeur est trop petit pour qu'on puisse espérer de conclure des résultats de nos expériences aucune loi relative à la variation que le changement de densité fait subir à l'affinité des corps pour la lumière. Les liquides que nous avons essayés sont le soufre carburé, l'éther sulfurique et l'éther muriatique.

A défaut de ce moyen direct, il nous avait semblé que cette loi pourrait se déduire de la comparaison du pouvoir réfringent des gaz et de celui des corps solides ou liquides qu'ils forment en s'unissant. En effet, si dans les combinaisons de gaz qui conservent l'état gazeux, le pouvoir réfringent du composé était, comme on l'a cru jusqu'à présent, égal à la somme des pouvoirs réfringents de ses éléments, il en résulterait que l'acte de la combinaison ne modifierait en rien l'action des corps sur la lumière, d'où l'on pourrait conclure avec vraisemblance que le pouvoir réfringent d'un composé solide ou liquide ne diffère de la somme des pouvoirs réfringents de ses principes gazeux, qu'à raison de l'augmentation que

ces derniers éprouvent par l'effet de la condensation.

Cependant, comme la loi relative à la force réfringente des gaz composés n'avait été établie que sur un petit nombre d'expériences, il était indispensable de s'assurer d'abord de son exactitude : or, les mesures que nous avons faites de la réfraction d'un grand nombre de gaz nous ont prouvé que cette loi ne s'accordait pas toujours avec les résultats de l'observation.

On voit donc que le pouvoir réfringent d'un corps, loin d'être constant comme la théorie newtonienne semblerait le prouver dans l'hypothèse la plus naturelle qu'on puisse faire sur l'attraction, subit au contraire des variations, soit par l'effet du changement de densité, soit par l'état de combinaison dans lequel le corps se trouve. Pour déterminer l'influence de chacune de ces causes en particulier, il est nécessaire de mesurer avec exactitude les pouvoirs réfringents d'un grand nombre de substances, et ceux des combinaisons auxquelles elles donnent lieu. Quoique le travail que nous avons entrepris à cet égard embrasse déjà un nombre assez considérable de corps, nous avons senti la nécessité de l'étendre encore plus avant de chercher à lier par quelque loi générale les divers résultats auxquels nous sommes parvenus.

Les faits que nous venons d'établir nous ont paru d'une telle importance, relativement à la théorie de la lumière, que nous avons cru qu'il serait utile d'en suivre les conséquences dans les divers phénomènes qui par leur nature ont une liaison plus ou moins directe avec celui de la réfraction.

Les rayons diversement colorés dont se compose la lumière blanche sont, comme on le sait, inégalement séparés les uns des autres par leur réfraction dans des corps de nature différente, et c'est en cela que consiste la différence de force dispersive des corps. Ce qu'il y a de plus naturel à prendre pour mesure du pouvoir dispersif, c'est la différence des pouvoirs réfringents relatifs aux couleurs extrêmes du spectre; et dans la théorie newtonienne, cette différence devrait être constante pour un même corps, aussi bien que le pouvoir réfringent des rayons moyens.

L'expérience nous ayant appris que ce dernier pouvoir diminuait avec la densité, il était facile de prévoir que la force dispersive diminuerait aussi, mais il était important d'examiner si ces variations suivraient la même loi. Pour y parvenir, il fallait déterminer le pouvoir dispersif des liquides et des vapeurs dont nous avions précédemment mesuré le pouvoir réfringent. La force dispersive des liquides pouvait s'obtenir aisément; mais il n'en était pas de même de celle des vapeurs. La réfraction qu'elles occasionnent dans un prisme étant très-faible, la dispersion, qui n'est qu'une partie très-petite de cette réfraction, est à peine sensible. Aussi, malgré l'importance d'une pareille détermination, soit dans les gaz, soit dans les vapeurs, les physiciens paraissaient avoir renoncé à la déduire de l'observation. Mais comme l'objet que nous nous proposions exigeait une mesure directe, nous nous sommes efforcés d'atteindre ce but à l'aide d'un procédé dont nous donnerons une description détaillée. On verra de plus, par les résultats que nous rapporterons, que les expériences

faites sur une même vapeur, dans des circonstances différentes s'accordent assez bien entre elles pour qu'on puisse regarder nos déterminations comme approchant beaucoup de la vérité.

En comparant les forces dispersives des vapeurs ainsi mesurées à celles des liquides dont ces vapeurs dérivent, nous nous sommes assurés que le pouvoir dispersif diminuait effectivement avec la densité; mais ce que l'observation nous a appris d'une manière non moins certaine, c'est que le pouvoir dispersif diminue dans un plus grand rapport que le pouvoir réfringent, ou, en d'autres termes, qu'en appelant i le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, et d la densité du corps, le pouvoir réfringent $\frac{i^2-1}{d}$ est non-seulement variable pour une même classe de rayons, mais encore que la loi suivant laquelle ce changement s'effectue est différente pour les rayons diversement colorés.

Dans le soufre carburé que nous avons déjà choisi pour exemple, le rapport du pouvoir dispersif au pouvoir réfringent est 0.14 à l'état liquide, tandis qu'il se réduit à moins de 0.08 dans l'état de vapeur.

Ainsi, tandis que la variation du pouvoir réfringent pouvait encore s'expliquer, en admettant que l'attraction d'un même corps pour la lumière varie suivant une loi différente de celle de la raison directe des densités, on voit que, pour rendre compte de la variation observée dans le pouvoir dispersif, il faudrait supposer en outre que l'action d'un corps sur les rayons diversement colorés suit, dans les changements de densité, une loi différente pour chacun de ces rayons. Ces diverses suppositions

diminuent, sans doute, et la simplicité et la vraisemblance de la théorie newtonienne; mais avant de rien décider à cet égard, il est nécessaire, nous le répétons, d'examiner avec beaucoup de soin les changements que les forces réfringentes des corps subissent, soit par des variations de densité, soit par l'effet de la combinaison. Il est indispensable aussi de joindre à ces déterminations celles qui sont relatives aux forces dispersives dont les physiciens ne s'étaient jamais occupés jusqu'ici, et qui, comme nous l'avons annoncé, peuvent, à l'aide de précautions nombreuses, être déduites d'expériences directes.

MÉMOIRE

SUR

L'ACTION QUE LES RAYONS DE LUMIÈRE POLARISÉS EXERCENT LES UNS SUR LES AUTRES [1]

Avant de rapporter les expériences qui font l'objet de ce Mémoire, il ne sera peut-être pas inutile de rappeler quelques-uns des beaux résultats que le Dr Thomas Young avait déjà obtenus en étudiant, avec cette rare sagacité qui le caractérise, l'influence que, dans certaines circonstances, les rayons de lumière exercent les uns sur les autres.

1° Deux rayons de lumière homogène, émanant d'une même source, qui parviennent en un certain point de l'espace par deux routes différentes et légèrement inégales, s'ajoutent ou se détruisent, forment sur l'écran qui les reçoit un point clair ou obscur, suivant que la différence des routes a telle ou telle autre valeur;

2° Deux rayons s'ajoutent constamment là où ils ont parcouru des chemins égaux : si l'on trouve qu'ils s'a-

1. Ce Mémoire a été imprimé en 1819 dans les *Annales de chimie et de physique*; il est commun à MM. Arago et Fresnel. Voir plusieurs passages qui y sont relatifs, t. VII des *Œuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*, p. 336 à 341, 381, 426 à 428.

joutent de nouveau quand la différence des deux chemins est égale à une certaine quantité d, ils s'ajouteront encore pour toutes les différences comprises dans la série $2\,d$, $3\,d$, $4\,d$, etc. Les valeurs intermédiaires $0 + \frac{1}{2}\,d$, $d + \frac{1}{2}\,d$, $2\,d + \frac{1}{2}\,d$, etc., indiquent les cas dans lesquels les rayons se neutralisent réciproquement;

3° La quantité d n'a pas la même valeur pour tous les rayons homogènes : dans l'air, elle est égale à $\frac{67}{100,000}$ de millimètre relativement aux rayons rouges extrêmes du spectre, et seulement à $\frac{42}{100,000}$ pour les rayons violets. Les valeurs correspondantes aux autres couleurs sont intermédiaires entre celles que nous venons de rapporter.

Les couleurs périodiques des anneaux colorés, des halos, etc., paraissent dépendre de l'influence qu'exercent ainsi l'un sur l'autre des rayons qui, séparés d'abord, viennent ensuite à coïncider de nouveau : toutefois, pour que les lois que nous venons de rapporter satisfassent à ces divers phénomènes, il faut admettre que la différence de route ne détermine seule l'action de deux rayons dans le point de leur croisement que lorsqu'ils se sont constamment mus, l'un et l'autre, dans les mêmes milieux; et que s'il existe quelque diversité entre les réfringences ou les épaisseurs des corps diaphanes traversés par chaque rayon isolément, elle produit un effet équivalent à une différence de chemin. On a rapporté ailleurs[1] une expérience directe de M. Arago, qui donne les mêmes résultats, et d'où découle encore cette conséquence, qu'un corps diaphane diminue la vitesse de la lumière qui le

1. Tome VII des *Œuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*, p. 99.

traverse, dans le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction; en sorte que, dans tous les phénomènes d'interférence[1], deux milieux différents produiront des effets pareils, lorsque leurs épaisseurs seront en raison inverse des coefficients[2] de la réfraction. Ces considérations conduisent aussi, comme on a pu le voir, à une méthode nouvelle pour mesurer de légères différences de réfrangibilité.

Pendant les essais que nous faisions en commun pour apprécier le degré d'exactitude dont cette méthode est susceptible, l'un de nous (M. Arago) imagina qu'il pourrait être curieux de rechercher si les actions que les rayons ordinaires exercent habituellement l'un sur l'autre ne seraient pas modifiées quand on ne ferait interférer deux faisceaux lumineux qu'après les avoir préalablement polarisés.

On sait que si l'on éclaire un corps étroit par la lumière qui émane d'un point rayonnant, son ombre est bordée extérieurement d'une série de franges formées par l'interférence de la lumière directe et des rayons infléchis dans le voisinage du corps opaque; et qu'une partie de la même lumière, en pénétrant dans l'ombre géométrique par les deux bords opposés du corps,

1. M. Young appelle ainsi tous les phénomènes produits par la rencontre de deux ou de plusieurs rayons lumineux.

2. Pour abréger, nous désignons par *coefficient de la réfraction* le rapport du sinus d'incidence à celui de réfraction. Les Anglais appellent ce même rapport *index of refraction*. Plusieurs physiciens français disent *indice de réfraction*. Ces dénominations ne doivent pas être confondues avec celle de *pouvoir réfringent*, qui n'a un sens précis que dans le système de l'émission.

donne naissance à des franges du même genre : or, nous reconnûmes d'abord facilement que ces deux systèmes de franges sont absolument semblables, soit que la lumière incidente n'ait reçu aucune modification, ou qu'elle n'arrive sur le corps qu'après avoir été préalablement polarisée. Les rayons polarisés dans un même sens s'influencent donc, en se mêlant, de la même manière que les rayons naturels.

Il restait encore à essayer si deux rayons primitivement polarisés à angles droits, ou, pour nous servir d'une expression consacrée, en sens contraires, ne produiraient pas des phénomènes du même genre, en se croisant dans l'intérieur de l'ombre géométrique d'un corps opaque.

Pour cela, nous plaçâmes tantôt un rhomboïde de spath calcaire, et tantôt un prisme de cristal de roche achromatisé, devant le foyer rayonnant[1], et nous obtînmes ainsi deux points lumineux. De chacun d'entre eux émanait un faisceau divergent : ces deux faisceaux, comme on voit, étaient polarisés en sens contraires. Un cylindre métallique fut placé ensuite entre les deux points radieux, et correspondait précisément au milieu de l'intervalle qui les séparait. D'après cette disposition, une partie des rayons polarisés du premier faisceau pénétrait par la droite dans l'espace situé derrière le cylindre; et une partie des rayons polarisés en sens contraire du second faisceau y entrait par la gauche. Quelques rayons de ces deux groupes venaient se réunir près de la ligne

1. Pour toutes les expériences que nous avons à rapporter dans ce Mémoire, la lumière partait du foyer d'une petite loupe.

qui joignait le centre du cylindre et le milieu de la droite passant par les deux points radieux. Là, ces rayons avaient parcouru des chemins égaux ou légèrement différents : il semble donc qu'ils auraient dû y former des franges; mais on n'en voyait pas la plus légère trace, même avec une loupe. Les rayons, en un mot, s'étaient croisés sans s'influencer. Les seuls systèmes de franges qu'on aperçût dans cette expérience provenaient de l'interférence des rayons qui, en partant de chaque point radieux considéré isolément, pénétraient dans l'ombre par les deux bords opposés du cylindre. Celles que nous cherchions à produire par le croisement des rayons polarisés en sens contraires, seraient évidemment venues se placer entre les premières.

Le cristal dont nous nous étions servis séparant très-peu les images, les deux rayons ordinaire et extraordinaire avaient dû le traverser dans des épaisseurs presque égales. Toutefois, nous avions déjà trop souvent remarqué, en faisant des expériences pareilles, combien la plus petite différence dans les vitesses des rayons, dans la longueur ou la force réfringente des milieux qu'ils traversent, modifie sensiblement les phénomènes d'interférence, pour ne pas être convaincus de la nécessité de répéter notre épreuve en évitant toutes les causes d'incertitude que nous venons de signaler. Chacun de nous en chercha les moyens.

M. Fresnel imagina d'abord pour cela deux méthodes distinctes. Le principe des interférences montre que les rayons émanés de deux foyers lumineux provenant d'une même source, forment, dans les points de leur croise-

ment, des bandes obscures et brillantes, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir dans l'expérience aucun corps opaque. (Voyez *Annales de chimie et de physique*, t. I, p. 332.)

Pour résoudre la question, il suffisait donc d'essayer si les deux images formées en plaçant un rhomboïde de spath calcaire devant un point lumineux, ne donneraient pas un pareil résultat; mais comme, suivant la théorie de la double réfraction, le rayon extraordinaire se meut dans le carbonate de chaux plus vite que le rayon ordinaire, il fallait, avant d'effectuer le croisement des rayons, compenser artificiellement cet excès de vitesse. Pour cela, et en se fondant sur une expérience de M. Arago qui a été déjà citée plus haut (p. 133), M. Fresnel plaça sur le trajet du seul faisceau extraordinaire, une plaque de verre dont l'épaisseur avait été déterminée par le calcul, de manière qu'en la traversant sous l'incidence perpendiculaire, ce faisceau perdît à peu près toute l'avance qu'il avait prise dans le cristal sur le faisceau ordinaire; dès lors, en inclinant légèrement la plaque, on pouvait obtenir, à cet égard, une compensation exacte. Malgré cela, le croisement des deux faisceaux polarisés en sens contraires ne donnait point de bandes.

Dans une autre expérience, pour compenser l'effet de la différence de vitesse des deux rayons, M. Fresnel les faisait tomber l'un et l'autre sur une petite glace non étamée, dont l'épaisseur avait été calculée de manière que le rayon extraordinaire, en se réfléchissant perpendiculairement sur la seconde face, perdît, par son double trajet dans le verre, plus qu'il n'avait gagné en traver-

sant le cristal; un changement graduel d'inclinaison devait conduire ensuite à une compensation parfaite : néanmoins, sous aucune incidence, les rayons ordinaires réfléchis à la surface antérieure de la glace ne donnèrent des bandes sensibles en se mêlant aux rayons réfléchis par la seconde surface.

M. Fresnel évitait le défaut qu'a l'expérience précédente de reposer sur une considération théorique, et conservait de plus à la lumière incidente toute son intensité par le procédé suivant. Ayant fait scier par le milieu un rhomboïde de spath calcaire, il plaça les deux fragments l'un devant l'autre, de manière que les sections principales fussent perpendiculaires : dans cette situation, le faisceau ordinaire du premier cristal éprouvait la réfraction extraordinaire dans le second; et réciproquement, le faisceau qui d'abord avait suivi la route extraordinaire, se réfractait ensuite ordinairement. En regardant à travers cet appareil, on ne voyait donc qu'une double image du point lumineux ; chaque faisceau avait éprouvé successivement les deux espèces de réfractions; les sommes des chemins parcourus par chacun d'eux dans les deux cristaux à la fois devaient donc être égales, puisque, par hypothèse, ces cristaux avaient l'un et l'autre la même épaisseur : tout se trouvait ainsi compensé sous le rapport des vitesses et des routes parcourues; et néanmoins, les deux systèmes de rayons polarisés en sens contraires ne donnaient naissance, en interférant, à aucune frange perceptible. Ajoutons encore que, dans la crainte que les deux fragments du rhomboïde n'eussent pas parfaitement la même épaisseur, on avait l'attention,

dans chaque épreuve, de faire varier légèrement et avec lenteur l'angle sous lequel les rayons incidents rencontraient le second cristal.

La méthode que M. Arago avait imaginée, de son côté, pour faire la même expérience, était indépendante de la double réfraction. On sait depuis longtemps que si l'on pratique dans une feuille mince deux fentes très-fines et peu distantes l'une de l'autre, et que si on les éclaire par la lumière d'un seul point lumineux, il se forme derrière la feuille des franges fort vives résultant de l'action que les rayons de la fente de droite exercent sur les rayons de la fente opposée, dans les points où ils se mêlent. Pour polariser en sens contraires les rayons provenant de ces deux ouvertures, M. Arago avait d'abord songé à se servir d'une agate mince, à la scier par le milieu, et à placer chaque moitié devant l'une des fentes, de manière toutefois que les portions d'abord contiguës des agates se trouvassent alors dans des directions rectangulaires. Cette disposition devait évidemment produire l'effet attendu; mais n'ayant pas eu dans le moment, sous la main, une agate convenable, M. Arago proposa d'y suppléer à l'aide de deux piles de plaques, et pour leur conserver la minceur nécessaire à la réussite de l'expérience, de les composer de lames de mica.

A cet effet, nous choisîmes quinze de ces lames, les plus pures possibles, et nous les superposâmes. Ensuite, à l'aide d'un instrument tranchant, cette pile unique fut partagée par le milieu. Il est clair, dès lors, que les deux piles partielles provenant de cette bissection devaient avoir, à fort peu près, la même épaisseur, du moins dans

les parties qui d'abord étaient contiguës, quand même les lames composantes auraient été sensiblement prismatiques. Ces piles polarisaient presque complétement la lumière qui les traversait, lorsque l'incidence, comptée à partir de la surface, était de 30°. C'est précisément sous cette inclinaison que chacune d'elles fut placée devant l'une des fentes de la feuille de cuivre.

Quand les deux plans d'incidence étaient parallèles, quand les deux piles étaient inclinées dans le même sens, de haut en bas, par exemple, on voyait nettement les bandes formées par l'interférence des deux faisceaux polarisés, tout comme lorsqu'on fait agir l'un sur l'autre deux rayons de lumière ordinaire; mais si, en faisant tourner l'une des piles autour du rayon incident, les deux plans d'incidence devenaient rectangulaires; si la première pile restant toujours inclinée de haut en bas, la seconde l'était, par exemple, de gauche à droite, les deux faisceaux émergents, alors polarisés à angles droits ou en sens contraires, ne formaient plus en se rencontrant aucune bande perceptible.

Les précautions que nous avions prises pour donner la même épaisseur aux deux piles font assez présumer qu'en les plaçant devant les fentes, nous eûmes l'attention de les faire traverser par la lumière dans les parties qui, avant le partage de la grande pile, étaient contiguës. On a vu d'ailleurs, et cette circonstance tranche toutes les difficultés qu'on pourrait faire à cet égard, que les franges se montraient, comme à l'ordinaire, quand les rayons étaient polarisés dans le même sens; ajoutons néanmoins qu'un changement lent et graduel dans l'in-

clinaison d'une des piles ne faisait jamais apparaître des bandes lorsque les plans d'incidence étaient rectangulaires.

Le jour même où nous avions essayé le système des deux piles, nous fîmes, d'après l'idée de M. Fresnel, une expérience, à la vérité moins directe que la précédente, mais aussi d'une exécution plus facile, et qui démontre également l'impossibilité de produire des franges par le croisement de rayons lumineux polarisés à angles droits.

On place devant la plaque de cuivre percée de ses deux fentes une lame peu épaisse de chaux sulfatée, par exemple : puisque ce cristal a la double réfraction, il sort de chaque fente deux faisceaux polarisés en sens contraires; or, si les rayons d'une espèce pouvaient agir sur les rayons de l'espèce opposée, on devrait voir avec cet appareil trois systèmes de franges distincts. Les rayons ordinaires de droite, combinés avec les rayons ordinaires de gauche, donneraient un premier système correspondant tout juste au milieu de l'intervalle compris entre les deux fentes; les bandes formées par l'interférence des deux faisceaux extraordinaires occuperaient la même place que les précédentes, augmenteraient leur intensité, mais ne pourraient pas en être distinguées. Quant à celles qui résulteraient de l'action des rayons ordinaires de droite sur les rayons extraordinaires de gauche et réciproquement, elles se formeraient à droite et à gauche des franges centrales, et d'autant plus loin que la lame employée serait plus épaisse : car nous avons vu qu'une différence de vitesse fait tout aussi bien varier la position des franges qu'une différence de route. Or, puisque

les franges du milieu sont seules visibles, alors même que la lame interposée est assez mince pour que les deux autres systèmes en dussent être peu éloignés, il faut en conclure que les rayons de noms différents ou polarisés en sens contraires ne s'influencent pas.

Pour confirmer encore cette conséquence, supposons qu'on coupe en deux notre lame de sulfate de chaux; qu'une des moitiés corresponde à la première fente; que l'autre soit placée devant la fente opposée, et que les axes, au lieu d'être parallèles comme lorsque la lame était unique, soient maintenant rectangulaires. Par cette disposition, le rayon ordinaire provenant de la fente de droite sera polarisé dans le même sens que le rayon extraordinaire sortant de la fente de gauche, et réciproquement. Ces rayons formeront donc des franges; mais leurs vitesses dans le cristal n'étant pas égales, elles ne correspondront pas au centre de l'intervalle compris entre les deux ouvertures; les seuls rayons ordinaires ou extraordinaires d'une des fentes, en se mêlant aux rayons de même nom sortis de la fente opposée, pourraient donner des franges centrales; mais comme, d'après la disposition particulière qu'occupent, par hypothèse, les deux fragments du cristal, ces rayons sont polarisés en sens contraires, ils ne doivent pas s'influencer. Aussi voit-on uniquement les deux premiers systèmes de franges, séparés par un intervalle blanc et d'une nuance uniforme[1].

1. L'intervalle qui sépare les deux groupes de franges dépend évidemment de la différence qu'il y a entre les vitesses du rayon ordinaire et du rayon extraordinaire, ou, ce qui revient au même, entre les nombres d'ondulations qu'effectuent les deux rayons

Si, sans rien changer aux autres dispositions de l'expérience précédente, on place seulement les deux lames interposées de sulfate de chaux de manière que leurs axes, au lieu d'être rectangulaires, fassent entre eux un angle de 45°, on aperçoit tout aussitôt trois systèmes de franges : car chaque faisceau de droite agit dès lors sur les deux faisceaux de gauche et réciproquement, leurs plans de polarisation n'étant plus maintenant rectangulaires. On doit même remarquer que le système du milieu est le plus intense et résulte de la superposition parfaite des bandes formées par l'interférence des faisceaux de même nom.

Reprenons maintenant l'appareil des piles, et supposons que les plans d'incidence étant rectangulaires, les faisceaux transmis à travers les deux fentes soient polarisés en sens opposés; plaçons de plus entre la feuille de cuivre et l'œil un cristal doué de la double réfraction, et dont la section principale fasse un angle de 45° avec les plans d'incidence. D'après les lois connues de la double réfraction, les rayons transmis par les piles se

pendant leur trajet dans le cristal. Pour obtenir cette différence, il suffira donc de mesurer avec un micromètre la distance comprise entre les franges du premier ordre, dans les deux systèmes, et de la diviser par le double de la largeur d'une des franges. Connaissant de plus l'épaisseur du cristal employé et son pouvoir réfringent, on aura tout ce qu'il faut pour calculer le rapport des deux vitesses ; ce qui conduit ensuite aux autres éléments de la double réfraction. Si l'on effectue ces mesures sur diverses faces naturelles ou artificielles, on pourra suivre la loi de Huygens, même dans des cristaux où la double réfraction est à peine sensible. Cette méthode, toute simple qu'elle est, peut encore être modifiée de manière qu'on n'ait plus besoin de partager le cristal en deux parties. Quelques essais que nous en avons faits ont parfaitement réussi.

partageront l'un et l'autre, dans le cristal, en deux rayons de même intensité et polarisés dans deux directions rectangulaires, dont l'une est précisément celle de la section principale. On pourrait donc s'attendre à observer, dans cette expérience, une série de franges produites par l'action du faisceau ordinaire de droite sur le faisceau ordinaire de gauche, et une seconde série toute pareille provenant de l'interférence des deux faisceaux extraordinaires : néanmoins on n'en aperçoit pas la plus légère trace, et les quatre faisceaux, en se croisant, ne donnent qu'une lumière continue[1].

Cette expérience, dont l'idée est due à M. Arago, nous a prouvé que deux rayons qui ont été primitivement polarisés en sens contraires peuvent ensuite être ramenés à un même plan de polarisation, sans acquérir par là la faculté de s'influencer.

Pour que deux rayons polarisés en sens contraires, et ramenés ensuite à une polarisation analogue, puissent s'influencer mutuellement, il est nécessaire qu'ils soient primitivement partis d'un même plan de polarisation,

1. Si la lame interposée entre la plaque de cuivre et l'œil était mince et séparait peu les images, on pourrait expliquer l'absence des bandes en supposant que celles qui résultent de l'interférence des faisceaux ordinaires viennent se placer sur les autres, pourvu qu'on admît encore que les bandes brillantes du premier système correspondent aux bandes obscures du second et réciproquement. Mais on prouve que cette hypothèse ne suffit pas à l'explication du phénomène, en plaçant un rhomboïde de spath calcaire entre l'œil et le précédent cristal. Le rhomboïde, dans certaines positions, devrait séparer les deux systèmes de bandes, puisqu'ils sont polarisés en sens contraires, et cependant, dans les circonstances les mieux choisies, on n'en voit pas de traces.

comme cela résulte de l'expérience, imaginée par M. Fresnel, que nous allons rapporter.

On expose, sous l'incidence perpendiculaire, une lame de sulfate de chaux parallèle à l'axe et recouverte d'une mince feuille de cuivre percée de deux ouvertures, à un faisceau de lumière polarisé partant d'un point radieux : l'axe de la lame fait un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation. Comme dans toutes les expériences analogues, on observe l'ombre de la feuille avec une loupe ; mais cette fois-ci on place de plus en avant de son foyer un rhomboïde de spath calcaire, doué d'une double réfraction sensible, et dont la section principale fasse, à son tour, avec celle de la lame un angle de 45°. Dès lors on découvre, dans chaque image, trois systèmes de franges : l'un d'entre eux correspond exactement au milieu de l'ombre ; les autres systèmes sont à gauche et à droite du premier.

Examinons maintenant comment naissent ces trois systèmes de franges dans une des deux images, dans l'image ordinaire, par exemple.

Les faisceaux polarisés dans le même sens qui passent par les deux fentes se partagent chacun, en traversant la lame de chaux sulfatée, en deux faisceaux polarisés en sens contraires. La double réfraction de la lame étant insensible, les parties ordinaire et extraordinaire de chaque faisceau suivent la même route, mais avec des vitesses différentes.

L'un de ces doubles faisceaux, celui de la fente de droite, par exemple, se partage, en traversant le rhomboïde, en quatre faisceaux, deux ordinaires et deux

extraordinaires; mais en définitive, on n'en voit que deux, puisque les parties composantes des faisceaux de même nom coïncident. Il est d'ailleurs évident, d'après les lois connues de la double réfraction et les positions que nous avons assignées à la lame de chaux et au rhomboïde, qu'à sa sortie de ce dernier cristal, le faisceau ordinaire se compose de la moitié du rayon qui était ordinaire dans la lame et de la moitié du rayon extraordinaire; et que les deux autres moitiés de ces mêmes rayons passent à l'image extraordinaire dont nous sommes convenus de faire abstraction. Le faisceau sorti de la fente de gauche se comporte de la même manière. On voit, en un mot, qu'après avoir traversé les deux cristaux dans ce nouvel appareil, les faisceaux ordinaires provenant de la fente de droite ou de celle de gauche se composent, l'un et l'autre, d'une portion de lumière qui a toujours suivi la route ordinaire dans les deux cristaux, et d'une seconde portion qui d'abord était extraordinaire.

Ceux des rayons venant des deux fentes qui, en traversant la lame de sulfate de chaux et le rhomboïde, suivent constamment la route ordinaire, parcourent des chemins égaux avec les mêmes vitesses, et doivent conséquemment, après leur réunion, donner naissance à des franges centrales. Il en est de même des rayons qui, extraordinaires dans la lame de chaux sulfatée, sont devenus simultanément ordinaires par l'action du rhomboïde : les franges du milieu de l'ombre résultent donc de la superposition de deux systèmes différents.

Quant à la portion de lumière de droite qui, extraordinaire, par exemple, dans la lame de chaux, est

devenue ordinaire en traversant le rhomboïde, elle aura parcouru un chemin égal à la portion du faisceau de gauche qui s'est toujours réfractée ordinairement; mais comme ces rayons étaient doués, dans la lame, de vitesses un peu inégales, les points où ils forment des franges sensibles en se croisant, au lieu de correspondre au milieu de l'intervalle compris entre les deux fentes, seront à droite, c'est-à-dire du côté opposé au rayon qui, ayant été un moment extraordinaire, se mouvait alors le plus lentement. Vient ensuite, pour dernière combinaison, l'interférence de la partie du faisceau de droite ordinaire dans les deux cristaux avec la portion du faisceau de gauche extraordinaire dans la lame et ordinaire dans le rhomboïde, et qui donne, par là, naissance à des bandes situées à gauche du centre.

Nous venons d'expliquer la marche des rayons qui concourent à la formation des trois systèmes de franges dans l'appareil en question; et l'on a pu remarquer que les systèmes de droite et de gauche résultent de l'interférence de rayons d'abord polarisés en sens contraires dans la lame de chaux sulfatée, et ramenés ensuite à une polarisation analogue par l'action du rhomboïde. Deux rayons polarisés en sens contraires, et ramenés ensuite à un plan unique de polarisation, peuvent donc donner des franges en se croisant; mais pour cela, il est indispensable qu'ils aient été primitivement polarisés dans le même sens.

Nous avons fait abstraction jusqu'ici de l'action mutuelle des deux faisceaux qui éprouvent, dans le rhomboïde, la réfraction extraordinaire. Ces faisceaux four-

nissent aussi trois systèmes de franges; mais ils sont séparés des premiers. Si, tout restant dans le même état, on substitue maintenant au rhomboïde une lame de sulfate de chaux ou de cristal de roche qui ne donne pas deux images distinctes, les six systèmes, au lieu d'en produire trois par leur superposition, se réduisent à celui du milieu. Ce résultat remarquable démontre : 1° que les franges résultantes de l'interférence des rayons ordinaires sont complémentaires des franges produites par les rayons extraordinaires; et 2° que ces deux systèmes sont mutuellement disposés de manière qu'une frange brillante du premier système correspond à une frange obscure du second, et réciproquement ; sans ces deux conditions, on n'apercevrait autre chose qu'une lumière uniforme et continue sur les deux côtés des franges centrales. On retrouve donc ici la différence d'une demi-ondulation, comme dans le phénomène des anneaux colorés.

Les expériences que nous venons de rapporter conduisent donc en définitive aux conséquences suivantes :

1° Dans les mêmes circonstances où deux rayons de lumière ordinaire paraissent mutuellement se détruire, deux rayons polarisés à angles droits ou en sens contraires n'exercent l'un sur l'autre aucune action appréciable;

2° Les rayons de lumière polarisés dans un seul sens agissent l'un sur l'autre comme les rayons naturels : en sorte que, dans ces deux espèces de lumières, les phénomènes d'interférence sont absolument les mêmes;

3° Deux rayons primitivement polarisés en sens contraires peuvent ensuite être ramenés à un même plan de

polarisation, sans néanmoins acquérir par là la faculté de s'influencer ;

4° Deux rayons polarisés en sens contraires, et ramenés à des polarisations analogues, s'influencent comme les rayons naturels, s'ils proviennent d'un faisceau primitivement polarisé dans un seul sens ;

5° Dans les phénomènes d'interférence produits par des rayons qui ont éprouvé la double réfraction, la place des franges n'est pas déterminée uniquement par la différence des chemins et par celle des vitesses ; et dans quelques circonstances que nous avons indiquées, il faut tenir compte, de plus, d'une différence égale à une demi-ondulation.

Toutes ces lois se déduisent, comme on l'a vu, d'expériences directes. On pourrait y arriver plus simplement encore en partant des phénomènes que présentent les lames cristallisées ; mais il faudrait déjà admettre que les teintes dont ces lames se colorent quand on les éclaire par un faisceau de lumière polarisée, résultent de l'interférence de plusieurs systèmes d'ondes. Les démonstrations que nous avons rapportées ont l'avantage d'établir les mêmes lois, indépendamment de toute hypothèse.

MÉMOIRE

SUR

LES MOYENS DE RÉSOUDRE LA PLUPART DES QUESTIONS DE PHOTOMÉTRIE QUE LA DÉCOUVERTE DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE A FAIT NAITRE

LU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES LE 5 AOUT 1833 [1]

L'optique a fait, depuis un tiers de siècle, des progrès brillants et inespérés. Une seule branche de cette science, celle qui traite de la mesure des intensités, celle qu'on a désignée par le nom de photométrie, est restée à peu près stationnaire.

La photométrie est née dans le sein de cette Académie. Ses principes les plus généraux furent exposés par Bouguer, dans un petit essai in-12, qui parut en 1729. On les retrouve avec plus de détail dans l'édition posthume de ce même ouvrage publiée en 1760, par les soins de Lacaille. Le traité de Lambert sur le même

1. Ce Mémoire principalement relatif à la loi du carré du cosinus qui donne l'intensité du rayon ordinaire fourni par un cristal doué de la double réfraction, n'avait pas encore été publié : il n'était connu du monde savant que par le précis qui en a été donné par M. Babinet dans le tome II de la traduction du *Traité de la lumière* d'Herschel. On trouvera ce précis à l'appendice qui termine ce volume; il y a été placé parce que M. Arago l'a regardé comme faisant prise de date, ainsi qu'il le dit dans le premier Mémoire sur la photométrie inséré ci-après.

sujet n'aurait rien laissé à désirer si d'ingénieux artifices analytiques dans la discussion des observations pouvaient suppléer à l'exactitude des données expérimentales.

Après les ouvrages de Bouguer et de Lambert, la science n'a plus guère à enregistrer qu'un petit nombre de déterminations numériques dues à Rumford et à Herschel. Ce n'est pas cependant qu'il ne fût évident pour tout le monde que la photométrie était encore dans son enfance. Je me rappelle, en effet, une époque où, d'après le vœu de Laplace, l'Académie elle-même paraissait disposée à proposer comme sujet de prix de physique mathématique la réalisation des nombreuses expériences dont on ne trouve que le canevas dans l'ouvrage de Bouguer.

Il me semblait depuis longtemps qu'il fallait essayer de combler cette lacune de l'optique, ne fût-ce qu'à raison des ressources multipliées que l'astronomie pourra puiser dans les méthodes photométriques, dès qu'elles auront acquis une précision suffisante.

Cette précision si désirable, les procédés suivis par Bouguer et Lambert ne la possèdent pas. Que l'on compare en effet les résultats numériques obtenus par ces deux célèbres académiciens, quand ils traitaient les mêmes questions, et l'on sera étonné des énormes différences qu'ils présentent. Il suffit d'ailleurs d'une seule remarque pour reconnaître l'imperfection des procédés dont il s'agit : Lambert et Bouguer ont, l'un et l'autre, soumis les faisceaux lumineux à des réflexions et à des réfractions multiples, sans s'apercevoir qu'après une première réflexion comme après une première réfraction, les rayons ont

acquis de nouvelles propriétés : les propriétés singulières qui distinguent la lumière polarisée de la lumière ordinaire, et dont la manifestation devient surtout évidente par des phénomènes d'intensité.

Pour se livrer avec quelques chances de réussite à des expériences photométriques, il fallait donc chercher de nouveaux moyens de mesure ou perfectionner les anciens. Telle est, en effet, la marche que j'ai suivie. Le Mémoire dont je vais avoir l'honneur de donner lecture à l'Académie est relatif aux méthodes que j'ai imaginées pour résoudre les nombreuses questions photométriques que la découverte de la polarisation de la lumière a fait naître.

DE LA LOI D'APRÈS LAQUELLE UN FAISCEAU DE LUMIÈRE POLARISÉE SE PARTAGE ENTRE L'IMAGE ORDINAIRE ET L'IMAGE EXTRAORDINAIRE, QUAND IL TRAVERSE UN CRISTAL DOUÉ DE LA DOUBLE RÉFRACTION

La lumière ordinaire, commune ou naturelle, se divise constamment en deux faisceaux de même intensité dans son passage à travers les cristaux doués de la double réfraction, tels que le carbonate de chaux ou spath calcaire, le cristal de roche, etc., etc.

Il existe, au contraire, une espèce de lumière qui, dans certaines positions du même cristal, ne donne qu'une seule image : tantôt l'image ordinaire et tantôt l'image extraordinaire ; et qui dans d'autres positions fournit deux images d'intensités plus ou moins dissemblables.

La lumière qui est privée de la propriété de se dédoubler constamment dans son trajet à travers un cristal

de carbonate de chaux, porte le nom de *lumière polarisée.*

Soit F l'intensité d'un faisceau polarisé. Supposons qu'en traversant un cristal de carbonate de chaux convenablement situé, ce faisceau tout entier se porte sur l'image ordinaire. Dès qu'on écartera un tant soit peu le cristal de cette première position en le faisant tourner autour de la lumière incidente, l'image extraordinaire commencera à poindre. Si le mouvement se continue, la nouvelle image augmentera graduellement d'éclat ; quand enfin le cristal aura tourné de 45°, les faisceaux ordinaire et extraordinaire auront exactement la même intensité ; chacun d'eux se composera de la moitié du faisceau incident.

De la position primitive à 45°, l'image ordinaire était toujours plus vive que l'image extraordinaire. Le contraire arrivera entre 45° et 90°. A cette dernière limite l'image ordinaire aura complétement disparu ; l'image extraordinaire qui existera seule, se composera de la totalité de la lumière incidente.

Pendant le mouvement de rotation du cristal, l'image extraordinaire passe donc successivement par tous les états compris entre 0 et F ; ainsi un simple mouvement de 90° donne une échelle graduelle d'intensités depuis 0 jusqu'à l'intensité naturelle du faisceau sur lequel on opère. Reste à savoir la loi de ces changements.

En représentant par i l'angle dont le cristal a tourné à compter de la position primitive où, par hypothèse, l'image ordinaire existait seule, Malus supposa que l'intensité du faisceau ordinaire est représentée par la formule $F\cos^2 i$. Le restant de la lumière incidente F, c'est-

à-dire $F - F\cos^2 i = F(1 - \cos^2 i) = F\sin^2 i$ serait donc l'intensité du faisceau extraordinaire. Or cette expression se réduit à 0 quand i est nul ; elle devient F, quand $i = 90°$ et $\frac{1}{2}F$ lorsque $i = 45°$; car $\sin 45° = \sqrt{\frac{1}{2}}$. Ainsi la formule $F\sin^2 i$ est d'accord avec l'expérience aux deux limites et dans le point milieu. Cela ne suffit pas cependant pour autoriser à dire que la formule est vraie en général. La démonstration d'une loi physique ne saurait être solidement appuyée sur la seule considération des cas extrêmes.

La connaissance de la loi suivant laquelle les rayons polarisés passent de l'image ordinaire à l'image extraordinaire serait non-seulement capitale sous le rapport théorique, mais elle conduirait encore à la solution d'un grand nombre de questions astronomiques très-importantes.

Supposons, par exemple, qu'on voulût comparer l'intensité lumineuse de la portion de la Lune que les rayons solaires éclairent directement avec celle de la partie du même astre qui reçoit seulement les rayons réfléchis par la Terre et qu'on appelle la *partie cendrée*. Voici, si la loi en question était connue, comment il faudrait opérer.

Après avoir polarisé la lumière de la Lune, à l'aide d'une quelconque des méthodes connues, on la ferait passer à travers un cristal doué de la double réfraction et disposé de manière que les rayons ne pouvant pas s'y bifurquer éprouvassent en totalité la réfraction ordinaire. Une lunette placée derrière ce cristal n'offrirait alors qu'une image de notre satellite; mais dès que le cristal en tournant sur lui-même s'écarterait de la posi-

tion primitive, la seconde image naîtrait, et son intensité irait graduellement en augmentant. On arrêterait le mouvement du cristal au moment où, sur cette image extraordinaire naissante, le segment correspondant à la partie de la Lune éclairée par le Soleil aurait l'intensité de la portion cendrée prise sur l'image ordinaire. Il est facile de voir que dès ce moment le problème serait complétement résolu.

En effet, en représentant par F et F', les intensités naturelles de la lumière lunaire et de la lumière cendrée, ces intensités, sur l'image ordinaire, après une rotation i du cristal, seraient $F\cos^2 i$ et $F'\cos^2 i$. Dans l'image extraordinaire on aurait respectivement $F\sin^2 i$ et $F'\sin^2 i$. Or, j'ai supposé qu'à l'angle i correspond, d'après l'observation, l'égalité des images; donc on a :

$$F'\cos^2 i = F\sin^2 i;$$

Donc le rapport $\frac{F'}{F}$ de la lumière cendrée à la lumière lunaire, est égal à $\frac{\sin^2 i}{\cos^2 i}$.

J'ai fait cette expérience avec le premier appareil de polarisation qui me soit tombé sous la main, et elle a réussi. Je n'en citerai pas toutefois le résultat numérique, quelque étonnant qu'il dût paraître, parce que la formule $F\cos^2 i$ n'est encore qu'hypothétique. Je voulais seulement dire ici, qu'avec un appareil perfectionné analogue à celui dont je compte pouvoir faire usage dans peu de temps, on appréciera, je l'espère, d'assez petites variations dans l'intensité de la lueur cendrée; celles, par exemple,

qui peuvent provenir de la différence entre les propriétés réfléchissantes de la portion solide de notre globe comparée à la portion liquide; celles, surtout, qui doivent dépendre de l'état plus ou moins nuageux de l'atmosphère terrestre. Il n'est donc pas impossible, malgré tout ce qu'un pareil résultat peut exciter de surprise au premier coup d'œil, qu'un jour les météorologistes aillent puiser dans l'aspect de la Lune des notions précieuses sur l'état de diaphanéité moyen de l'atmosphère terrestre dans les hémisphères qui, successivement, concourent à la production de la lumière cendrée.

Pour ceux qui ne prisent les théories scientifiques qu'à raison des applications qu'elles peuvent actuellement fournir, je citerai un autre genre d'observations astronomiques dont le perfectionnement me paraît aussi lié à la connaissance de la loi de polarisation qui fait l'objet de ce Mémoire.

Lorsqu'un satellite de Jupiter pénètre dans le cône d'ombre que la planète projette à l'opposite du Soleil, sa lumière diminue progressivement. Or, il est un certain degré d'affaiblissement de cette lumière après lequel elle ne produit plus d'effet sensible sur notre œil; c'est à ce moment que le satellite disparaît. Ainsi, même en faisant abstraction de la transmission successive de la lumière, il y a lieu à distinguer la disparition réelle de la disparition apparente. Au moment où cette dernière disparition s'observe de la Terre, il y a un segment du disque du satellite non éclipsé; tout le monde comprendra que ce segment doit être variable et dépendre de l'intensité de la lumière du satellite, de la force des lunettes, de la vue

plus ou moins perçante de l'astronome. Ces circonstances jettent sur toutes les observations une incertitude dont on ne s'aperçoit que trop, quand on discute les immersions ou émersions des satellites pour en déduire des tables générales. Or il est possible, dans chaque cas, de trouver l'instant de la disparition réelle d'après l'instant de la disparition apparente, si cette dernière disparition a été observée plusieurs fois de suite par la même personne et sur le satellite artificiellement affaibli dans des rapports déterminés.

Cette remarque ingénieuse est due à un ancien secrétaire de l'Académie des sciences, à Grandjean de Fouchy. L'application appartient à Bailly, et c'est de tous ses travaux celui sur lequel ce savant célèbre comptait le plus pour mériter un souvenir de la postérité[1]. Bailly se servait pour affaiblir les satellites, d'ouvertures circulaires de plus en plus étroites dont il couvrait successivement l'objectif de sa lunette. Cette méthode est sujette à une difficulté très-grave qui n'a pas été remarquée. Le diaphragme, surtout quand il est petit, n'altère pas seulement l'intensité du satellite, il change aussi sa forme, il lui donne un disque très-sensible, rond, bien tranché et entouré d'une suite d'anneaux lumineux et obscurs; or, qui oserait dire que la visibilité d'une lumière ainsi étalée soit la même que si cette lumière était concentrée dans un point sans dimensions angulaires appréciables?

En se servant, pour affaiblir les satellites, du mouvement de rotation d'un cristal doué de la double réfrac-

1. Voir t. II des *Œuvres* et des *Notices biographiques*, p. 261.

tion, on n'aura pas besoin d'altérer l'ouverture de l'objectif. Les images, sauf l'intensité, resteront toujours semblables à elles-mêmes, et aucune difficulté n'entravera plus l'application d'une méthode qui peut donner aux tables des deuxième, troisième et quatrième satellites de Jupiter une exactitude inespérée.

Les détails qui précèdent doivent suffire pour faire comprendre toute l'utilité d'une loi, quelle qu'elle puisse être, qui lierait les intensités des faisceaux ordinaire et extraordinaire. Quant à la difficulté qu'il y aurait à la vérifier par les moyens photométriques connus, il suffira de dire que Malus, Fresnel, Biot, Brewster, Herschel, à qui l'importance du problème n'avait certainement pas échappé, n'ont pas même tenté de le résoudre. Aussi ne sera-t-il pas question dans ce Mémoire de procédés usuels. La méthode que je propose est entièrement nouvelle; elle est d'ailleurs remarquable par cette circonstance paradoxale, que la comparaison des deux images, ordinaire et extraordinaire, s'effectue sans que ces deux images aient besoin d'être jamais séparées; disons plus : la méthode exige que les deux faisceaux restent constamment réunis, que leur superposition ait lieu presque mathématiquement; cependant elle est d'une exécution très-simple. Toute la difficulté consiste à l'expliquer clairement, et cela à cause du grand nombre de propriétés peu connues qu'elle suppose et dont je vais donner successivement les énoncés.

J'ai parlé en commençant d'un rayon polarisé qui, dans son trajet à travers un cristal doué de la double réfraction, ne se bifurquait pas; qui ne formait à sa sortie qu'une image ordinaire. Le rayon aurait pu être polarisé

de manière qu'en traversant le même cristal il donnât seulement une image extraordinaire.

On dit de deux rayons polarisés qui, en traversant le même cristal, suivent exclusivement l'un la route ordinaire, l'autre la route extraordinaire, qu'ils sont polarisés rectangulairement ou en sens contraires. Tel est, par exemple, le cas des deux faisceaux de même intensité en lesquels la lumière ordinaire se partage dans son trajet à travers un cristal doublement réfringent.

Le mélange de deux faisceaux de même intensité, polarisés en sens contraires, a toutes les propriétés de la lumière naturelle; ainsi il donne toujours, en traversant un cristal quelconque, deux images également vives. Rien d'ailleurs n'est plus facile que de réaliser un semblable mélange : il suffit d'employer un cristal assez mince, à faces parallèles, qui n'opère pas d'une manière sensible la séparation des deux faisceaux. Il vaut encore mieux, quel que soit le cristal, viser à un objet suffisamment large, d'une nuance uniforme, et effectuer ses expériences sur les rayons placés vers le milieu du champ de la vision.

Il existe des rayons qui jouissent de propriétés, pour ainsi dire, intermédiaires entre les propriétés de la lumière ordinaire et celles de la lumière complétement polarisée. On distingue ces rayons de la lumière polarisée, proprement dite, par ce caractère qu'ils se partagent toujours en deux faisceaux pendant leur trajet à travers un cristal de carbonate de chaux. D'une autre part ils diffèrent de la lumière ordinaire en ce que les deux faisceaux composants n'ont pas constamment la même inten-

sité dans toutes les positions du cristal qui sert à les analyser. Cette nouvelle espèce de lumière a pris le nom de *lumière partiellement polarisée.*

En mêlant une portion A de lumière entièrement polarisée, à une portion B de lumière naturelle, on aurait un faisceau qui jouirait des propriétés caractéristiques de la lumière partiellement polarisée dont il vient d'être question. En effet, dans son passage à travers un cristal doué de la double réfraction, la portion B se partagerait toujours par moitié entre l'image ordinaire et l'image extraordinaire. La partie A, au contraire, passerait, suivant la position du cristal, ou tout entière dans l'image ordinaire, ou tout entière dans l'image extraordinaire. Ainsi, dans certains cas, ces images seraient respectivement : l'une $\frac{1}{2}B + A$ et l'autre $\frac{1}{2}B$.

Dans d'autres cas, la première image que j'ai d'abord supposée la plus forte, deviendrait la plus faible de la même quantité A. Enfin à des positions intermédiaires du cristal employé correspondraient deux faisceaux dont la différence serait constamment moindre que A, ou même qui ne différeraient pas du tout. Ce sont précisément là les propriétés connues de la lumière partiellement polarisée.

Nous avons composé tout à l'heure, par le mélange de deux faisceaux de même intensité et polarisés rectangulairement, de la lumière qui avait, quant à la double réfraction, les propriétés des rayons ordinaires. Supposons que ces faisceaux polarisés superposés aient des intensités inégales, et le mélange nous donnera de la lumière partiellement polarisée. Si A et $A + \alpha$ étaient les intensités respectives des deux faisceaux polarisés, le

mélange correspondrait évidemment à 2 A de lumière neutre combinée avec α de lumière polarisée.

La lumière partiellement polarisée peut être amenée à l'état de lumière neutre en la faisant passer à travers une pile de plaques de verre.

Pour arriver à de la lumière neutre, la pile doit être traversée sous un angle d'autant plus aigu que le faisceau soumis à l'épreuve s'éloigne davantage de l'état de lumière ordinaire, ou, ce qui est la même chose, que la lumière polarisée y existe dans une plus forte proportion.

La réflexion sur un miroir de verre à faces parallèles est un moyen de polariser la lumière. Sous un certain angle la polarisation est complète; sous tous les autres elle n'est que partielle. L'incidence perpendiculaire est la seule qui ne donne lieu à aucune trace de polarisation.

Le rayon transmis à travers une lame de verre est polarisé aussi bien que le rayon réfléchi, mais les sens de ces deux polarisations sont rectangulaires.

La différence d'intensité des faisceaux ordinaire et extraordinaire, fournis par un cristal doué de la double réfraction, n'est pas le seul, n'est pas même le meilleur moyen de distinguer la lumière commune de la lumière partiellement polarisée.

Lorsqu'un faisceau complétement polarisé traverse rectangulairement certaines lames cristallines, par exemple, une lame de cristal de roche de 5 à 6 millimètres d'épaisseur taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre, il perd quelques-unes de ses anciennes propriétés et en acquiert d'autres non moins remarquables.

Après qu'il est sorti de la lame, le faisceau se retrouve dans les conditions de la lumière ordinaire, sous ce point de vue, du moins, qu'en traversant un cristal doué de la double réfraction, il donne constamment deux images; seulement ces images ne sont plus blanches, et les vives couleurs dont leur surface brille n'altèrent pas la netteté des contours.

Quand on fait tourner le cristal doublement réfringent sur lui-même, l'image ordinaire passe successivement, à chaque quart de révolution, par toute la série des nuances prismatiques. Les changements de l'image extraordinaire se trouvent liés aux précédents par la condition que les teintes des deux images sont nécessairement complémentaires. Ainsi, quand la première est rouge, la seconde est verte, et réciproquement.

Deux faisceaux polarisés rectangulairement se distinguent aisément l'un de l'autre quand, à leur sortie de la lame de cristal de roche, on les analyse avec un cristal doué de la double réfraction. Si, dans une certaine position de ce cristal, l'image ordinaire d'un des faisceaux est rouge, l'image ordinaire de l'autre faisceau sera verte ou de la teinte complémentaire. Ceci revient à dire que la couleur de l'image ordinaire d'un des faisceaux sera, pour chaque position du cristal, semblable à la couleur de l'image extraordinaire de l'autre.

Tout faisceau partiellement polarisé, pouvant être envisagé comme un composé de lumière neutre et d'une certaine proportion de lumière entièrement polarisée, donnera lieu, après avoir traversé la lame de cristal de roche de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, aux divers phé-

nomènes que je viens de décrire. Seulement, les couleurs provenant de la lumière polarisée paraîtront très-affaiblies à cause de leur superposition avec les deux images incolores de même intensité que donne la lumière neutre.

Comme de raison, l'affaiblissement dont je viens de parler sera d'autant plus grand que la lumière polarisée formera une moindre partie du faisceau total.

L'expérience a prouvé que des faisceaux fournissant des images d'intensités qui paraissaient égales, que des faisceaux qui seraient conséquemment rangés dans la classe de la lumière neutre, donnent naissance à des images sensiblement colorées quand on les a soumis à l'action de la lame de cristal de roche de 5 à 6 millimètres d'épaisseur.

Avec une semblable plaque il doit donc être possible d'exécuter un instrument qui fera découvrir l'existence des rayons partiellement polarisés, là où la comparaison directe des images serait entièrement muette.

Voici la disposition que j'ai adoptée, et dont je me sers depuis un grand nombre d'années[1].

J'adapte la plaque de cristal de roche au bout d'un tube de cuivre noirci intérieurement et je la recouvre d'une ouverture circulaire. Un second tube qui entre à coulisse dans le premier, comme le tuyau porte-oculaire d'une lunette, est bouché à son extrémité, à celle où l'œil doit être appliqué, par un prisme de cristal de roche achromatisé. Ce prisme fait voir deux images de l'ouverture qui, nécessairement, sont plus ou moins super-

1. L'instrument décrit ici a pris le nom de polariscope de M. Arago. — Voir sur ce même sujet l'*Astronomie populaire*, t. II, p. 101.

posées suivant que le tube est plus ou moins long. Ordinairement, j'allonge les tuyaux de manière que le champ de la vision ait la forme qu'indique la figure 1.

Dès que le faisceau qu'on analyse avec cet appareil contient quelques rayons polarisés, les deux lunules se colorent de teintes complémentaires. La coloration des lunules est, je présume, le caractère le plus subtil auquel aujourd'hui on puisse avoir recours pour distinguer les rayons le plus faiblement polarisés des rayons neutres.

Me voici enfin arrivé au principe général sur lequel ma méthode photométrique se trouve entièrement fondée.

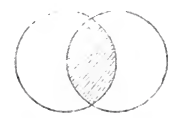


Fig. 1. — Forme du champ de la vision dans la lunette polariscope.

La quantité (il faut bien remarquer que je ne dis pas la proportion) la quantité de lumière complétement polarisée qui se trouve faire partie d'un faisceau partiellement polarisé par réflexion, et la quantité de lumière polarisée rectangulairement, qui est contenue dans le faisceau transmis sous le même angle, sont exactement égales entre elles.

Le faisceau réfléchi et le faisceau transmis sous le même angle par une lame de verre à faces parallèles, ont en général des intensités très-dissemblables, et cependant, d'après le principe que je viens d'énoncer, si l'on étudie avec un cristal doué de la double réfraction,

d'abord le faisceau réfléchi, ensuite le faisceau transmis, la plus grande différence d'intensité entre les images ordinaire et extraordinaire sera la même dans les deux cas, puisque cette plus grande différence est précisément égale à la quantité de lumière polarisée qui, dans le faisceau analysé, se trouve mêlée à de la lumière commune (voir page 160). Cette comparaison des images fournies par les lumières réfléchies ou transmises, cette égale différence de deux faisceaux d'intensités totalement dissemblables, seraient si difficiles à saisir, qu'on ne peut pas même songer un instant à vérifier la loi par ce procédé. Voici une méthode indirecte, qui conduit au résultat très-simplement et avec toute l'exactitude désirable.

Qu'on suppose un rayon de lumière complétement polarisée F tombant sous l'incidence perpendiculaire sur une plaque biréfringente dont la section principale fasse un angle connu i avec le plan de polarisation du rayon. Qu'on admette que la plaque biréfringente taillée parallèlement à l'axe du prisme hexaèdre soit trop peu épaisse pour séparer les deux rayons transmis. Si la loi du carré du cosinus est vraie, l'image ordinaire n'en sera pas moins $F \cos^2 i$; quant à l'image extraordinaire, elle aura pour intensité $F - F \cos^2 i = F \sin^2 i$. Mais les deux images ordinaire et extraordinaire sont polarisées rectangulairement, et l'on sait que des quantités égales de lumières polarisées à angles droits forment de la lumière naturelle. Il y a donc dans le rayon transmis $2F \sin^2 i$ de lumière naturelle. Par suite il ne reste de lumière polarisée que $F - 2F \sin^2 i = F \cos^2 i + F \sin^2 i - 2F \sin^2 i = F(\cos^2 i - \sin^2 i) = F \cos 2i$. Donc le rapport de la pro-

portion de la lumière polarisée à la lumière totale est

$$\frac{F \cos 2i}{F} = \cos 2i.$$

Mais d'un autre côté, on sait que la quantité absolue de lumière polarisée contenue dans un faisceau réfléchi est égale à la quantité absolue de lumière polarisée contenue dans le faisceau transmis. Par conséquent, si on suppose le faisceau réfléchi deux fois plus intense que le faisceau transmis, la proportion de lumière polarisée du premier faisceau sera sous-double de la proportion de lumière polarisée de l'autre.

Comme la lumière partiellement polarisée peut être ramenée à l'état de lumière commune par sa transmission à travers une pile de plaques, cette pile étant d'autant plus inclinée que le faisceau éprouvé est plus fortement polarisé, on pourra chercher avec une certaine pile de plaques d'abord l'inclinaison qui neutralise le faisceau réfléchi, et ensuite l'inclinaison qui neutralise le faisceau transmis. La première inclinaison correspondra à une proportion de lumière polarisée représentée par α, et l'autre inclinaison correspondra à une proportion de lumière polarisée égale à 2α.

Cela posé, plaçons la pile sous la première inclinaison : interposons entre elle et un plan réfléchissant, polarisant complétement la lumière, une lame cristallisée peu épaisse qui ne sépare pas les deux faisceaux et dans la position où elle ne donnerait qu'un image ordinaire. Imaginons que la lumière arrive ensuite à l'œil à travers une lame de cristal de roche et un prisme doué de la double réfrac-

tion. Faisons tourner tout l'appareil autour du rayon visuel jusqu'au moment où toute trace de couleur aura disparu, et soit i l'angle parcouru. A i correspond une proportion de lumière polarisée égale à α, et, d'après ce qu'on a vu plus haut, si la loi du carré du cosinus est vraie, on a :

$$\alpha = \cos 2i.$$

Opérons de même pour la seconde inclinaison. La lumière deviendra neutre quand l'appareil aura tourné d'un angle plus petit i'. Pour cet angle, si la loi est exacte, on a :

$$2\alpha = \cos 2i'.$$

On conclut de là

$$\cos 2i' = 2\cos 2i,$$

conséquence numérique facile à vérifier.

PREMIER

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE

DÉMONSTRATION EXPÉRIMENTALE DE LA LOI DU CARRÉ DU COSINUS

LU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 18 MARS 1850 [1]

I

Le mauvais état de ma santé et l'altération profonde que ma vue a éprouvée presque subitement, m'ont inspiré le désir, j'ai presque dit m'ont imposé le devoir de procéder à une prompte publication des résultats scientifiques qui, depuis longtemps, dorment dans mes cartons. Je me suis décidé à commencer par la photométrie, cette science qui, née au sein de l'Académie des sciences, est restée presque stationnaire au point de vue expérimental, au milieu des brillants progrès que l'optique a faits depuis un demi-siècle.

Mes premières expériences photométriques datent de 1815. Je les faisais alors avec un appareil mobile que

1. Ce Mémoire n'a pas encore été imprimé. L'introduction et les conclusions ont seules paru dans le tome XXX des *Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences.*

je tenais à la main. Cependant, telle était la bonté du principe dont je faisais l'application, que plusieurs des résultats obtenus ainsi servirent à Fresnel à vérifier ses formules théoriques.

Au moment de livrer à l'appréciation du public le fruit de recherches poursuivies à bâtons rompus, pendant de longues années, mais avec des instruments perfectionnés, il m'a paru que mes communications ne devaient pas se borner à des faits isolés. Il était préférable de donner des résultats liés entre eux et constituant des chapitres définis et distincts de la science. Mais, sous ce rapport, mes registres offraient de nombreuses lacunes que l'état de ma vue ne m'aurait pas permis de remplir avec l'exactitude convenable. Heureusement M. Laugier, notre confrère, et M. Petit, directeur de l'Observatoire de Toulouse, ont bien voulu, à ma prière, renoncer momentanément à leurs travaux personnels et venir à mon aide avec leurs jeunes yeux. Pendant près de trois mois, toutes les fois que les circonstances atmosphériques étaient favorables, ils se sont dévoués à l'exécution de mes expériences avec un zèle, une attention et une patience dont je suis heureux de leur témoigner ici toute ma reconnaissance. Peu de jours leur ont suffi pour se familiariser avec ce nouveau genre d'observations, pour se bien garantir des causes d'erreurs qui se présentent à chaque pas; pour me convaincre, enfin, que le cas échéant, ils pourront, livrés à eux-mêmes, compléter mon œuvre, tirer de mes instruments et de mes méthodes le parti le plus avantageux, et faire faire à la science de nouveaux progrès. Pour être juste, je ne dois pas oublier

de faire mention du concours intelligent que M. Charles Mathieu, élève astronome de l'Observatoire, nous a prêté quelquefois.

On voudra bien remarquer que dès que l'œil joue un rôle essentiel dans l'appréciation des phénomènes, il n'est pas inutile de s'assurer que diverses personnes arrivent aux mêmes résultats.

Dans ce Mémoire, je m'occuperai exclusivement des expériences par lesquelles j'ai démontré la loi photométrique que les physiciens ont appelée *loi du carré du cosinus*.

J'ai suivi dans cette recherche deux voies différentes.

La première est celle que je signalai en août 1833, dans un Mémoire lu devant l'Académie, et que M. Babinet eut la bonté de publier par extraits dans la traduction française de *l'Optique* d'Herschel[1].

On s'étonnerait avec raison qu'un intervalle de dix-sept années n'eût pas suffi à la réalisation de mes expériences, si je n'ajoutais qu'elles exigeaient impérieusement la connaissance exacte et préalable des quantités de lumière réfléchie et transmise sous un certain nombre d'inclinaisons par une lame de verre à faces parallèles. Or, chose singulière, ces quantités, bases de la photométrie, ne se trouvent pas dans l'ouvrage classique de Bouguer et n'existent dans celui de Lambert qu'affectées d'erreurs qui les rendent tout à fait impropres à des recherches délicates.

Si quelque physicien a tenté d'appuyer ses déductions

1. Voir précédemment, p. 150, et l'Appendice placé à la fin de ce volume.

sur les données empruntées au célèbre géomètre allemand, il a dû trouver des résultats très-discordants, et je ne m'étonne pas qu'il les ait gardés dans son portefeuille. Pour moi, je vis, dès les premiers essais de mon système d'expériences, qu'il me fallait renoncer à chercher dans les livres les données sur lesquelles elles se fondent; qu'il était nécessaire, en un mot, de prendre la question par sa base, sans rien emprunter ni à Lambert ni à ses successeurs. Je ferai connaître, dans une des plus prochaines séances, la méthode que j'ai imaginée pour obtenir avec toute la précision désirable les déterminations qui m'étaient indispensables. Maintenant je me contenterai de dire que par cette méthode nouvelle on a pu déterminer directement :

L'angle de 4° 32′, compté à partir de la surface, sous lequel une lame de crown-glass réfléchit quatre fois plus de lumière qu'elle n'en transmet.

L'angle de 7° 1′, sous lequel la lumière réfléchie est double de la lumière transmise.

L'angle de 11° 8′, sous lequel la lumière réfléchie est égale à la lumière transmise.

L'angle de 17° 17′, sous lequel la lumière réfléchie est égale à la moitié de la lumière transmise.

Enfin l'angle de 26° 38′, sous lequel la lumière réfléchie est le quart de la lumière transmise.

Ces angles, déterminés directement, sont les seuls dont on ait à faire usage pour appliquer la première méthode de vérification. La seconde exige que l'on connaisse exactement la quantité de lumière transmise ou réfléchie pour des angles compris entre les précédents.

Or, c'est à quoi on arrive par une interpolation d'autant plus légitime, qu'entre le premier angle correspondant à 4° 32′ et le dernier qui s'élève à 26° 38′, c'est-à-dire pour un intervalle de 22° 6′, on a cinq déterminations directes.

II

Lorsqu'un faisceau de lumière ordinaire traverse perpendiculairement un cristal de chaux carbonatée, il se partage en deux faisceaux d'égale intensité : l'un suit la route ordinaire; l'autre, une route extraordinaire. Les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire sont contenus dans un plan qui a été appelé la *section principale.*

Ne nous occupons que du faisceau ordinaire. Soumettons la lumière qui le compose à l'action d'un second cristal qui prendra le nom de *cristal analyseur*.

Si la section principale de ce second cristal est parallèle à la section principale du premier, la lumière provenant de celui-ci ne donnera qu'une image : l'image ordinaire. Dès que les sections principales cesseront d'être parallèles, l'image extraordinaire commencera à naître. Elle augmentera graduellement d'intensité à mesure que l'angle des deux sections s'accroîtra. Enfin l'image extraordinaire sera aussi vive que l'image ordinaire, quand l'angle des deux sections sera égal à 45°. Au delà de cet angle, ce sera l'image extraordinaire qui surpassera l'image ordinaire. Lorsque l'angle des deux sections atteindra 90°, l'image extraordinaire subsistera seule.

Le sens de la polarisation des deux images est, pour le rayon ordinaire, le plan de la section principale du

cristal analyseur; et pour le rayon extraordinaire, le plan perpendiculaire.

On peut se demander maintenant suivant quelle loi augmente l'intensité du rayon extraordinaire, ou suivant quelle loi diminue l'intensité du faisceau ordinaire, à mesure que l'angle formé par les sections principales du premier cristal et du cristal analyseur va en augmentant.

On remarquera que lorsque cet angle est nul, l'image extraordinaire n'existe pas; que cette image extraordinaire existe seule, qu'elle a absorbé toute la lumière lorsque les deux sections sont rectangulaires entre elles; enfin, qu'il y a autant de lumière dans l'image extraordinaire que dans l'image ordinaire, lorsque les sections principales sont inclinées l'une à l'autre de 45°. Or le cosinus de 0° est l'unité, le cosinus de $45° = \sqrt{\frac{1}{2}}$, et le cosinus de 90° = zéro. On satisfera donc aux trois intensités que possède le faisceau ordinaire, comme Malus l'avait observé, en supposant que cette intensité varie proportionnellement au carré du cosinus de l'angle formé par les sections principales. Mais peut-on compter sur une loi qui n'est ainsi vérifiée que sur les deux points extrêmes et le point milieu? Il est permis d'en douter. C'est pour suppléer à l'insuffisance de ces preuves que j'ai entrepris les expériences qui font l'objet de ce Mémoire.

III

Les phénomènes sont absolument les mêmes lorsqu'on observe l'image réfléchie, sous les angles convenables,

par la surface de l'eau, du verre, etc. Le plan de réflexion remplit alors le rôle que nous avons assigné à la section principale du premier cristal dans les expériences rapportées plus haut.

Supposons qu'au lieu de choisir un objet circonscrit et d'un éclat variable dans ses diverses parties, comme est la flamme d'une bougie, on fasse réfléchir sur le plan polarisant un large faisceau de lumière uniforme, comme celui qui provient d'une feuille de papier blanc. Supposons de plus que le cristal analyseur ait une double réfraction très-peu sensible, que ce soit, par exemple, une lame de cristal de roche taillée parallèlement aux arêtes du prisme hexaèdre. Tous les phénomènes que nous avons décrits comme se passant dans le cristal analyseur s'opéreront dans la lame de cristal de roche; seulement, à cause de l'étendue de l'objet d'où la lumière émane et de la petitesse de la double réfraction du cristal, ces phénomènes ne seront plus, si je puis ainsi parler, que latents; ils ne pourront plus être vus que des yeux de l'esprit.

Cherchons à les analyser, et l'on reconnaîtra, chose étrange, que la comparaison des images ordinaire et extraordinaire qui ne se serait effectuée qu'avec une difficulté extrême et une grande incertitude quand ces images restaient séparées, s'opère au contraire avec précision si elles restent superposées et confondues.

La section principale de la lame de cristal de roche qui a remplacé le premier cristal analyseur, coïncide-t-elle avec le plan de réflexion, la lumière reste dans l'état primitif, polarisée tout entière dans le plan de réflexion.

La section principale de la lame cesse-t-elle de coïncider avec le plan primitif de polarisation, la lumière provenant de chaque point du papier se partage en deux parties, l'une polarisée dans le plan actuel de la section principale de la plaque, l'autre dans un plan rectangulaire.

Mathématiquement parlant, quelque faible que soit la double réfraction de la lame, ces deux images ne coïncident pas; mais l'image ordinaire d'un point A coïncide avec l'image extraordinaire d'un point voisin B, également lumineux, de telle sorte que les phénomènes doivent se passer comme si les rayons provenant des images ordinaire et extraordinaire de chaque point du papier suivaient exactement la même route pour arriver à l'œil. Si l'on se rappelle maintenant que, suivant un des principes élémentaires de la polarisation, deux rayons polarisés rectangulairement et de même intensité se comportent dans leur ensemble comme de la lumière neutre, on reconnaîtra que dans le cas actuel il arrive à l'œil, de chaque point du papier, de la lumière partiellement polarisée, et que cette polarisation partielle est d'autant plus intense que les sections principales forment entre elles un angle plus petit.

Supposons maintenant que la loi du carré du cosinus soit exacte. Dans un azimut i, l'intensité de l'image ordinaire est $F\cos^2 i$, l'intensité de l'image extraordinaire est $F\sin^2 i$: c'est la loi du carré du cosinus.

Mais, en vertu du principe de polarisation cité plus haut, ce dernier faisceau $F\sin^2 i$, combiné avec une portion équivalente de l'autre faisceau, fera $2F\sin^2 i$ de lumière neutre.

Il ne restera donc de lumière polarisée provenant du faisceau ordinaire que $F\cos^2 i - F\sin^2 i = F\cos 2i$.

Ainsi, dans chaque faisceau arrivant à l'œil, le rapport de la lumière polarisée à la lumière totale est

$$\frac{F\cos 2i}{F} \quad \text{ou} \quad \cos 2i.$$

Ce rapport numérique est tellement lié à la loi des intensités des rayons ordinaire et extraordinaire, que s'il est vérifié par l'expérience, on pourra en conclure avec assurance que la loi des intensités est également hors de toute contestation.

IV

Venons maintenant au principe qui domine tout dans cette recherche.

J'ai découvert jadis que, lorsqu'un faisceau neutre tombe sur une lame transparente à faces parallèles, la quantité de lumière polarisée (remarquez bien que je ne dis pas la proportion) est exactement la même dans les deux faisceaux réfléchi et transmis[1].

Cela posé, supposons que le faisceau réfléchi soit la moitié du faisceau transmis; la proportion de lumière polarisée que contiendra le premier faisceau sera double de la proportion de lumière polarisée qui sera renfermée dans le faisceau transmis. Si l'intensité du faisceau réfléchi est le quart de l'intensité du faisceau transmis, la pro-

1. Voir t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 324 et 379.

portion de lumière polarisée que contiendra ce dernier faisceau sera le quart de la proportion renfermée dans le faisceau réfléchi. En général, si les faisceaux transmis et réfléchi sont respectivement ma et a, la quantité b de lumière polarisée qui forme la partie aliquote $\frac{a}{b}$ de la lumière réfléchie sera la portion aliquote $m\frac{a}{b}$ de la lumière transmise.

V

Deux instruments sont nécessaires pour résoudre le problème que nous avons en vue : le *polariscope* et le *polarimètre.*

Le polariscope est trop connu des physiciens pour qu'il ne suffise pas de rappeler ici qu'il se compose d'un tube de un à deux centimètres de diamètre, fermé à l'une de ses extrémités par une plaque de cristal de roche d'environ 5 millimètres d'épaisseur, taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre, et portant à l'autre extrémité, en guise d'oculaire, un prisme en cristal de roche doublement réfringent et achromatisé; ce prisme donne deux images de l'ouverture opposée. Si la lumière qui pénètre dans l'instrument est neutre, les deux images sont incolores. Si la lumière est complétement polarisée, les deux images brillent des plus vives couleurs. Si enfin la lumière est partiellement polarisée, les deux images de l'ouverture sont colorées, mais d'autant moins vivement que la proportion de lumière polarisée contenue dans le faisceau éclairant est plus faible. Ces couleurs

font découvrir les plus minimes proportions de lumière polarisée dans un faisceau mixte. C'est un procédé infaillible et d'une sensibilité que rien n'égale.

Le second instrument dont nous ferons usage, le polarimètre, est un polariscope devant lequel se trouve fixée une pile de plaques de verre susceptible de prendre relativement au faisceau incident toutes sortes d'inclinaisons. La mesure est fournie par un arc gradué convenablement disposé. A l'aide de cette pile on peut amener à l'état neutre tout rayon partiellement polarisé qui la traverse, et l'on est certain d'être arrivé à cette transformation du faisceau lorsque l'instrument donne des images sans aucune trace de coloration.

Cet instrument a pris le nom de polarimètre. Il permet, en effet, de reconnaître, avec une pile donnée, si le nombre de rayons neutres contenus dans un faisceau partiellement polarisé est plus ou moins grand que dans un autre faisceau. On peut arriver à déterminer numériquement la proportion de lumière polarisée contenue dans un faisceau mixte; mais nous n'obtiendrons ce résultat que par une graduation de l'instrument qui suppose que la loi du cosinus est exacte. Pour éviter de tomber dans un cercle vicieux, nous ferons d'abord usage du polarimètre sans supposer sa graduation.

VI

Tous ces principes étant posés, et les propriétés du polarimètre bien connues, nous allons passer à la solution du problème.

Je prends une lame de crown-glass à l'égard de laquelle l'expérience m'a appris que la lumière réfléchie est la moitié de la lumière transmise sous l'angle de 17° 17′ avec la surface.

Je neutralise à l'aide du polarimètre la lumière réfléchie. J'exécute la même opération sur la lumière transmise. J'ai ainsi deux inclinaisons de la pile donnant, l'une (celle qui correspond à la lumière transmise) la neutralisation d'un faisceau renfermant une certaine proportion inconnue de lumière polarisée; l'autre, la neutralisation d'un faisceau renfermant une proportion de lumière polarisée double de la précédente.

Cela posé, la pile étant placée sous ce dernier angle, je cherche sous quel angle azimutal i par rapport au plan de réflexion doit être placée la section principale de la lame de cristal de roche que traverse un faisceau polarisé pour que le faisceau sortant soit neutralisé, c'est-à-dire pour que cette lumière en sortant du cristal soit exactement composée comme le faisceau transmis par la lame de crown-glass. Je fais la même opération pour l'inclinaison de la pile qui correspondait à la neutralisation de la lumière réfléchie, et j'obtiens un second angle azimutal i' correspondant à une proportion de lumière polarisée double de la précédente.

L'expérience a donné, pour l'angle azimutal i 36° 42′, et pour l'angle azimutal i' 27° 58′.

Si la loi que nous voulons vérifier est exacte, le rapport du cosinus $2i'$ au cosinus $2i$ doit être exprimé par le nombre 2.

Or, entre les nombres fournis par l'expérience, nous

trouvons le nombre 1.96. C'est à environ $\frac{1}{50^e}$ près le résultat que donne la loi à vérifier.

Remarquons qu'il suffirait de faire varier les angles i' et i l'un de 5', l'autre de 11' en plus, pour satisfaire rigoureusement à la loi mathématique du cosinus.

Citons une seconde vérification pour le cas où la lumière réfléchie est le tiers de la lumière transmise : dans ce cas, on détermine les inclinaisons de la pile dont on se sert, qui correspondent respectivement aux neutralisations des deux faisceaux réfléchi et transmis.

Employant ensuite cette même pile sous ces deux inclinaisons pour étudier le faisceau complétement polarisé après son passage par la lame de cristal de roche, on trouve pour les angles azimutaux i et i', qui correspondent aux neutralisations :

$$i' = 23°\ 19',$$
$$i = 38°\ 19'.$$

D'après la loi, cos$2i'$ devrait être égal au triple de cos$2i$; d'après l'expérience, le rapport est 2.97; ce qui s'accorde avec la loi mathématique aussi bien qu'on peut le désirer.

Remarquons que, dans ce dernier cas, la vérification porte sur un intervalle considérable (égal à 38° 19' — 23° 19' = 15°).

Ajoutons que l'on peut avec le polarimètre s'assurer que de part et d'autre de l'angle de 45° et à distances égales de cet angle, les polarisations partielles sont équivalentes, et que le polariscope fait découvrir, avec toute la sensibilité qui lui appartient, que 45° est bien exacte-

ment le point où les rayons ordinaire et extraordinaire se neutralisent entièrement.

Lorsqu'on songe aux bizarreries, aux résultats imprévus qui sont sortis des dernières recherches des physiciens sur la lumière, on doit se croire autorisé à porter le scepticisme jusqu'à ses dernières limites. On peut se demander, par exemple, si la loi du carré du cosinus, vraie pour des rayons confondus, le serait encore si les images étaient séparées. Afin de ne laisser dans les esprits aucune trace d'un pareil doute, j'ai imaginé et institué un autre système d'expériences qui fera l'objet d'une seconde communication.

VII

Peut-être demandera-t-on que je justifie l'importance que j'ai mise à vérifier expérimentalement la loi du carré du cosinus. Voici ma réponse :

Les lois mathématiques simples (je ne parle pas de celles qui résultent des simples formules d'interpolation) mettent sur la voie de la cause des phénomènes. Ces lois sont d'ailleurs si rares, dans le domaine de la physique, qu'une de plus est une acquisition précieuse.

La loi du carré du cosinus une fois démontrée expérimentalement, un observateur muni d'une lunette prismatique a sous la main le moyen de faire varier l'intensité des deux images que la lunette fournit, par des degrés presque insensibles et néanmoins parfaitement déterminés, par des dix-millièmes, par exemple.

La loi en question conduit à une méthode directe et

d'une exécution facile pour graduer expérimentalement le polarimètre. De là les moyens de résoudre une foule de questions de photométrie et d'optique qui ne seraient pas même abordables sans le secours de cet instrument : par exemple la détermination de la hauteur des nuages isolés qui se montrent si souvent dans un ciel serein, d'après la lumière partiellement polarisée qui correspond au nuage ; résultat paradoxal, pour le dire en passant, car l'observation de toute distance semble exiger impérieusement la mesure d'une base et les observations faites aux deux extrémités.

Grâce à l'extrême précision des méthodes que fournit la loi du carré du cosinus, j'ai pu amener à une solution définitive cette question astronomique si souvent posée et si diversement résolue : le bord et le centre du Soleil sont-ils également lumineux ?

L'hémisphère de la Lune visible de la Terre présente des parties très-brillantes et d'autres parties obscures qu'on a appelées improprement des *mers*. Quelles sont les intensités comparatives de ces régions, douées d'une puissance de réflexion si dissemblable? Le problème a pu être posé, mais jamais on ne l'a résolu. On verra que sa solution découle d'une manière très-simple d'un emploi judicieux de la loi du carré du cosinus.

Enfin, à l'aide de cette même loi, on détermine l'intensité comparative de la lumière lunaire provenant du Soleil, et de la lueur cendrée provenant de la Terre. On saura donc expérimentalement quelle est l'intensité comparative du Soleil et de la Terre, celle-ci étant considérée comme planète réfléchissant la lumière solaire. On saura

aussi si les hémisphères terrestres successivement visibles de la Lune sont plus ou moins lumineux suivant qu'ils renferment plus ou moins de parties terrestres (de continents), plus ou moins de régions aqueuses (de mers). On appréciera en même temps l'influence de l'état plus ou moins diaphane, plus ou moins nuageux de notre atmosphère; en sorte qu'il n'est pas impossible qu'un jour on aille chercher dans l'observation de la lumière cendrée des données sur la diaphanéité moyenne des divers hémisphères terrestres.

Telles sont quelques-unes des questions photométriques que je me propose de traiter successivement devant l'Académie. Leur énoncé suffira, j'espère, pour justifier les détails dans lesquels je suis entré, et pour faire sentir l'importance d'une démonstration expérimentale de la loi du carré du cosinus.

DEUXIÈME

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE

CONSTRUCTION DE LA TABLE DES QUANTITÉS DE LUMIÈRE RÉFLÉCHIE ET DE LUMIÈRE TRANSMISE PAR UNE LAME DE VERRE A FACES PARALLÈLES

LU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 1er AVRIL 1850 [1]

Le but de ce Mémoire est de présenter la table des quantités de lumière réfléchie et de lumière transmise, sous toutes les inclinaisons, par une lame de verre à faces

1. Mémoire inédit dont les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences* contiennent seulement le résumé suivant :

« Présenter la table des quantités de lumière réfléchie et de lumière transmise, sous diverses inclinaisons voisines de la surface, par une lame de verre à faces parallèles; appliquer ces résultats numériques à une nouvelle vérification de la loi du carré du cosinus, en opérant non plus sur des rayons confondus, mais sur des images séparées; faire connaître, en les discutant, les moyens à l'aide desquels cette table a été formée : tel est l'objet de ce second Mémoire. En attendant la prochaine publication du texte, dont la longueur dépasserait de beaucoup les limites imposées aux articles de ce recueil, on en présentera ici une analyse très-sommaire.

« Les procédés photométriques généralement suivis jusqu'ici reposaient sur l'emploi de lumières artificielles dont l'éclat variable se prêtait difficilement à des mesures exactes. De telles lumières sont absolument exclues de ces expériences, et c'est là un des caractères essentiels de la nouvelle méthode qu'on a suivie. Cette

parallèles, et de faire connaître les moyens à l'aide desquels j'ai formé cette table.

Bouguer a établi, par des expériences ingénieuses, que l'œil est très-bon juge de l'égalité de deux lumières. C'est en ramenant par des moyens nouveaux à l'égalité les lumières qu'il s'agit de comparer, que nous résoudrons dans ces premiers Mémoires les questions photométriques, d'abord en jugeant de cette égalité à l'œil nu, sans aucun secours étranger, ensuite en nous aidant de quelques artifices qui rendent les jugements plus subtils.

La méthode que j'ai suivie diffère des procédés dont mes prédécesseurs avaient fait usage par ce caractère essentiel, que je n'ai jamais eu recours à des lumières artificielles.

Tous ceux qui ont employé de telles lumières, chandelles, bougies ou lampes à double courant d'air, se sont lamentés sur les incertitudes que les variations d'éclat

méthode repose sur l'emploi de deux artifices : le premier consiste à dédoubler successivement les images par voie de double réfraction ; le second, à emprunter toujours la lumière à un large écran de papier, vu par transmission et éclairé par une grande portion du ciel couvert.

« Le Mémoire contient une discussion détaillée de ces deux artifices et des conditions dans lesquelles on doit les employer. On prouve, par le raisonnement et par l'expérience, que l'observateur ne doit tenir aucun compte des distances variées où peut être placé l'écran et même, dans certaines limites, de l'angle d'émission des rayons. On démontre aussi, à l'aide de l'observation directe et du polariscope, que le dédoublement opéré dans un rayon de lumière neutre par un cristal biréfringent se fait exactement par moitiés.

« Après avoir étudié, avec tout le soin convenable, les conditions dans lesquelles il faut se placer pour tirer le meilleur parti possible de l'emploi de l'écran et de prismes biréfringents d'une nature particulière, l'auteur présente à l'Académie l'instrument dont il s'est

apportaient aux résultats définitifs, sur les difficultés nombreuses qu'elles opposaient aux observations. Quant à moi, je le dis sans détour, j'aurais complétement renoncé aux recherches photométriques si je n'avais pas trouvé les moyens de me passer de l'intermédiaire incommode et incertain des chandelles, bougies ou lampes d'Argand. Ces moyens sont de deux sortes : le premier consiste dans l'emploi de la double réfraction pour réduire les images observées à la moitié, au quart, etc., de leur intensité primitive; le second à emprunter, dans toutes les expériences, la lumière à un écran de papier vu par transmission et éclairé par une très-grande portion du ciel, et autant que possible d'un ciel couvert.

Il fallait donc, préalablement à toute expérience, étudier sous tous les points de vue l'écran auquel on em-

servi, en explique l'usage et donne les valeurs numériques des angles sous lesquels les quantités de lumière réfléchie et de lumière transmise par une lame de verre à faces parallèles sont entre elles dans les rapports de 4 à 1, de 2 à 1, de 1 à 1, de $\frac{1}{2}$ à 1 et de $\frac{1}{4}$ à 1. C'est par une interpolation entre les termes de cette série que l'auteur arrive aux déterminations dont il a besoin pour vérifier la loi du carré du cosinus, dans les conditions énoncées plus haut.

« Cette vérification, toutefois, n'est rigoureuse que dans la supposition qu'aucune portion sensible de lumière ne s'éteint ni dans l'acte de la réflexion ni dans celui de la réfraction, à la première et à la seconde surface de la lame. M. Arago a expliqué minutieusement les expériences à l'aide desquelles il a constaté, contrairement aux résultats contenus dans des ouvrages classiques, l'exactitude de ce fait capital.

« Dans un troisième Mémoire, l'auteur montrera comment on peut passer des petits angles (4° et 26° $\frac{1}{2}$) aux incidences voisines de la perpendiculaire, comment on peut aussi déterminer les quantités de lumière réfléchie sous différents angles, à la surface des métaux, et à la première surface des miroirs diaphanes. »

prunterait la lumière, et se prémunir contre toute cause d'erreur venant de ce côté. C'est ce que nous ferons à mesure que nous avancerons dans nos expériences.

Quand on se rappelle que la lumière émanant d'une source quelconque diminue d'intensité en raison du carré des distances, on a quelque peine à concevoir, de prime abord, que, pour un ensemble de points formant une surface continue, il ne soit pas nécessaire, même lorsqu'on regarde directement la surface, d'avoir égard à cette diminution; qu'il soit indifférent d'emprunter la lumière à l'écran de près ou de loin. Cependant un examen attentif modifie ces premières impressions. En effet, supposons qu'on regarde l'écran à travers une ouverture d'une dimension déterminée; que l'écran sur lequel cette ouverture se projette soit d'abord à 1 centimètre de distance de l'œil, et ensuite à 2 centimètres : la lumière de chaque point visible diminuera dans le rapport du carré des distances, dans celui de 1 à 4, et nonobstant cette diminution, l'éclat de l'ouverture sera constant, car dans le second cas il y aura quatre fois plus de points de l'écran envoyant de la lumière à l'œil que dans le premier, ce qui forme une exacte compensation.

Malgré l'évidence de ces considérations, j'ai désiré soumettre les résultats de la théorie à l'épreuve d'une expérience décisive. J'ai invité M. Laugier à exposer à la lumière du Soleil deux feuilles de papier toutes semblables, et à différentes distances de la place où il devait les observer par transmission. Cela posé, une fente située à la distance de la vision distincte se projetait à la fois

par la moitié de gauche sur la feuille la plus voisine, par la moitié de droite sur la feuille la plus éloignée. Les rayons qui, partant de l'œil, rasaient les deux bords de la fente, embrassaient sur le papier le plus éloigné une plus grande étendue de surface que sur le papier le plus voisin, et, à raison de cette circonstance, toute vérification faite, les deux portions de la fente, celle qui correspondait à l'écran le plus rapproché, et l'autre portion, celle qui correspondait à l'écran le plus éloigné, semblaient avoir exactement le même éclat.

Voici les éléments numériques de ces expériences.

Première expérience.

Distance de l'œil	au premier écran........	60	centimètres.
—	—	au deuxième écran......	90	—
—	—	à la fente..............	49	—

Deuxième expérience.

Distance de l'œil	au premier écran........	58	centimètres.
—	—	au deuxième écran......	91	—
—	—	à la fente...............	49	—

Ainsi nous n'aurons pas à nous préoccuper des inégalités petites ou grandes qui pourraient exister entre les distances des divers points de l'écran au photomètre dont nous allons faire usage.

Examinons maintenant si l'autre artifice auquel j'ai eu recours ne prêterait pas à quelque difficulté. L'idée que j'ai eue d'employer des cristaux biréfringents pour réduire des rayons lumineux à la moitié, au quart, etc., de leur intensité primitive, m'a dispensé, comme je l'ai

dit plus haut, de recourir à des lumières artificielles placées à des distances variables. Mais il fallait, avant toute mesure, légitimer cette idée; montrer qu'en rendant les observations plus commodes elle conduisait en même temps à des méthodes plus exactes que les procédés anciens. Voici comment je m'y suis pris pour cela.

J'ai très-attentivement examiné, en me plaçant dans les circonstances les plus favorables, les images ordinaire et extraordinaire fournies par un cristal naturel ou par un prisme achromatisé. Je n'ai jamais pu constater entre les deux images la moindre différence d'intensité.

Je ne me suis pas borné à cette épreuve, j'ai eu recours au polariscope.

Les faisceaux ordinaire et extraordinaire provenant d'un cristal doué de la double réfraction sont polarisés rectangulairement. Si ces faisceaux n'avaient pas la même intensité, la lumière résultant de leur superposition serait partiellement polarisée. La lumière polarisée contenue dans le faisceau complexe aurait une intensité égale à la différence des faisceaux ordinaire et extraordinaire. Or, en visant avec le polariscope à une feuille de papier blanc, au travers d'un cristal doué de la double réfraction, on ne voit pas de traces de couleur. Ce procédé aurait rendu manifeste la plus légère différence d'intensité entre les deux images provenant du cristal.

Ainsi on peut regarder comme démontré que lorsqu'un faisceau de lumière neutre traverse un cristal biréfringent, le faisceau émergent est partagé exactement par moitié entre l'image ordinaire et l'image extraordinaire.

Mais les faisceaux émergents ne renferment pas la totalité de la lumière incidente. En effet, lorsqu'un faisceau de lumière tombe sur la surface d'un cristal doué de la double réfraction, avant de se bifurquer il éprouve une réflexion partielle. La bifurcation ne s'opère que sur le faisceau déjà affaibli.

A la sortie du cristal chacun des deux faisceaux ordinaire et extraordinaire éprouve encore une réflexion partielle. C'est donc comme si le dédoublement avait porté sur un faisceau affaibli une première fois à son entrée dans une lame cristallisée, et une seconde fois à sa sortie. Quand on voudra comparer les faisceaux ordinaire et extraordinaire provenant d'un cristal à un autre faisceau non dédoublé, il faudra donc faire préalablement subir à celui-ci un affaiblissement égal en lui faisant traverser une lame cristalline de la même matière, de la même épaisseur, et dont les surfaces offrent le même degré de poli, et qui dans le sens de sa coupe particulière n'ait pas la double réfraction.

Lorsqu'on obtient la double réfraction par la juxtaposition de deux prismes de cristal de roche, on interpose entre les deux surfaces en contact une substance telle que de l'essence de térébenthine, qui rend insensible la réflexion à la seconde surface du premier prisme et la réflexion à la première surface du second. Il n'y a donc plus, pour satisfaire aux conditions énoncées plus haut, qu'à exécuter une lame de cristal de roche douée de la même épaisseur que les deux prismes superposés, qui ne jouisse pas d'une double réfraction sensible, et qui possède aux surfaces d'entrée et de sortie le même degré de

poli que la première surface du premier prisme et la seconde surface du second.

Voici comment j'ai fait exécuter un prisme qui satisfait à cet ensemble de conditions. On prend une plaque de cristal de roche à faces parallèles, on la taille en biseau de telle sorte qu'une des faces de l'angle soit une des surfaces primitives de la plaque, comme le représente en coupe la figure suivante (fig. 2).

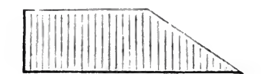


Fig. 2. — Biseau d'une plaque de cristal de roche

Dans la partie où les deux surfaces sont parallèles, la plaque n'a pas de double réfraction sensible. Dans la partie prismatique, la double réfraction, au contraire, est très-apparente, mais les deux images sont irisées.

Prenons une lame semblable à la première et de même épaisseur; formons à son extrémité un biseau de même angle parfaitement semblable au premier, comme cette autre coupe le représente (fig. 3).

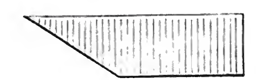


Fig. 3. — Biseau renversé d'une plaque de cristal de roche.

Les deux lames étant placées bout à bout, biseau sur biseau, formeront une plaque composée d'une épaisseur uniforme (fig. 4). L'opposition des deux biseaux aura détruit tout effet d'irisation provenant de la forme pris-

matique; et cependant si le sens des coupes a été convenablement choisi, la double réfraction restera suffisamment forte dans la partie correspondante aux biseaux superposés.

Collons les biseaux entre eux avec une substance ayant un pouvoir réfringent égal à celui du cristal de roche, et nous aurons obtenu ainsi une lame qui jouira de la double réfraction vers son milieu, qui en sera dépourvue vers ses extrémités, et qui dans toutes ses parties fera éprouver le même affaiblissement aux lumières de même intensité qui la traverseront perpendiculairement.

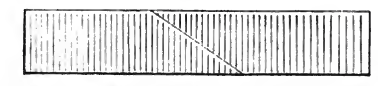


Fig. 4. — Lame de cristal de roche jouissant de la double réfraction vers son milieu et dépourvue de cette propriété vers ses extrémités.

Il faut remarquer que puisque dans l'observation on ramène à l'égalité la portion de lumière qui a passé à travers la partie prismatique de la lame et celle qui a traversé la partie non prismatique, les faisceaux réellement comparés ont originairement la même intensité et éprouvent des pertes réellement égales, par voie de réflexion. Considérons, en effet, le faisceau qui tombe sur la partie prismatique comme partagé par moitié : chacune de ces moitiés éprouvera une perte égale à celle qui tombe sur la partie non prismatique, laquelle, définitivement, lorsque l'expérience est terminée, lui est égale. Bien que le faisceau tombant sur la partie prismatique ait une intensité double de l'autre, comme la comparaison se fait sur la moitié de ce faisceau dédoublé, il est évident

que les affaiblissements à la première et à la deuxième surface, doivent être les mêmes de part et d'autre.

Ces plaques composées jouent un grand rôle dans nos expériences. La partie prismatique correspond toujours à l'image à dédoubler; le reste, ou l'une des parties dépourvues de la double réfraction, sert à faire éprouver un affaiblissement égal au faisceau qu'il s'agit de comparer au premier.

La table que nous allons former renferme les valeurs comparatives de la totalité de la lumière réfléchie et de la totalité de la lumière transmise par des lames à faces parallèles. Avec un peu d'attention on verra que cette circonstance rendait indispensable l'emploi d'un écran suffisamment large et d'une intensité uniforme. On verra aussi que ce genre d'expériences exigeait l'emploi d'une plaque de verre d'une grande étendue.

Suivons, en effet, la marche d'un rayon lumineux partant d'un point de l'écran et tombant obliquement sur la première face de la plaque : au point d'incidence, une partie de ce rayon se réfléchit en formant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; la partie restante pénètre dans la lame après avoir éprouvé une réfraction qui la rapproche plus ou moins de la perpendiculaire. Parvenu à la seconde face, le rayon éprouve encore une réflexion partielle : une partie passe dans l'air et l'autre est ramenée vers la première face. Là, cette portion réfléchie éprouve encore une réflexion partielle; la portion qui passe dans l'air est parallèle au premier rayon réfléchi, l'autre portion est ramenée vers la seconde surface où les mêmes phénomènes se reproduisent, et ainsi de suite,

indéfiniment. Ainsi, la totalité de la lumière réfléchie se compose : de la lumière qui a rebondi en touchant extérieurement la première face; de celle qui passe dans l'air après avoir éprouvé une réflexion à la seconde face et une réfraction à la première; et ensuite de toutes celles qui résultent d'une réflexion partielle à la deuxième face, suivie d'une réfraction à la première.

La figure ci-jointe (fig. 5) représente aux yeux cette

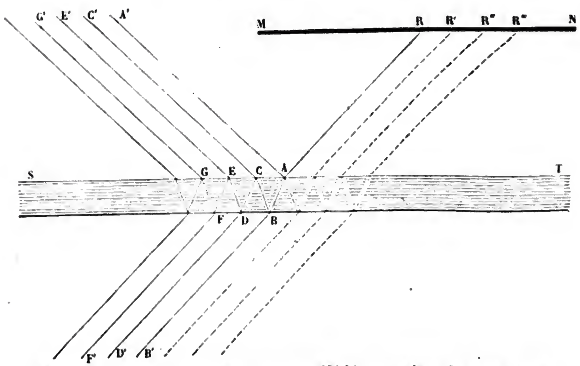


Fig. 5. — Composition d'un faisceau lumineux réfléchi par une lame de verre à faces parallèles et provenant de la lumière incidente envoyée par un écran.

suite de phénomènes plus clairement que toute autre explication.

On remarquera que la même figure indique aussi avec évidence la manière dont se compose la totalité de la lumière transmise provenant d'un point R de l'écran MN.

Supposons maintenant le verre ST épais et la lumière incidente très-oblique par rapport à la surface, les rayons réfléchis AA′, CC′, EE′, GG′, etc., seront assez écartés

les uns des autres. En observant dans la direction AA′ on n'aurait donc pas la totalité de la lumière réfléchie par le verre et provenant d'un point donné de la surface.

Pour satisfaire à cette condition, il faudrait pouvoir réunir en un faisceau unique les rayons AA′, CC′, EE′, GG′, etc., tant que ces rayons ont une intensité appréciable. Mais il est inutile de chercher les moyens d'opérer cette réunion, car il se produit dans l'expérience quelque chose d'exactement équivalent lorsqu'on opère sur un écran d'une certaine étendue. Il est clair en effet qu'il y a dans l'écran un point R′ voisin du premier point rayonnant R dont le rayon, provenant de la première réflexion sur la deuxième face de la lame de verre, coïncide avec le rayon AA′; un point R″ dont le rayon, provenant de la deuxième réflexion à la seconde face analogue à celle que le rayon venant de R a éprouvée en D, coïncidera encore avec le rayon AA′, et ainsi de suite. Dans la direction AA′ on observera donc la même intensité que si les rayons partiels AA′, CC′, EE′, etc., provenant du même point R, avaient été réunis en un seul faisceau.

Il résulte avec évidence de cet ensemble de considérations que le verre sur lequel on opère doit avoir une étendue suffisante pour que les rayons secondaires, tertiaires, etc., provenant des points R′, R″, R‴, etc., puissent se réunir au rayon principal AA′. Si l'on ne portait pas son attention sur cette circonstance, on pourrait tomber dans des résultats erronés. Du reste, on est averti de l'insuffisance des dimensions de la plaque

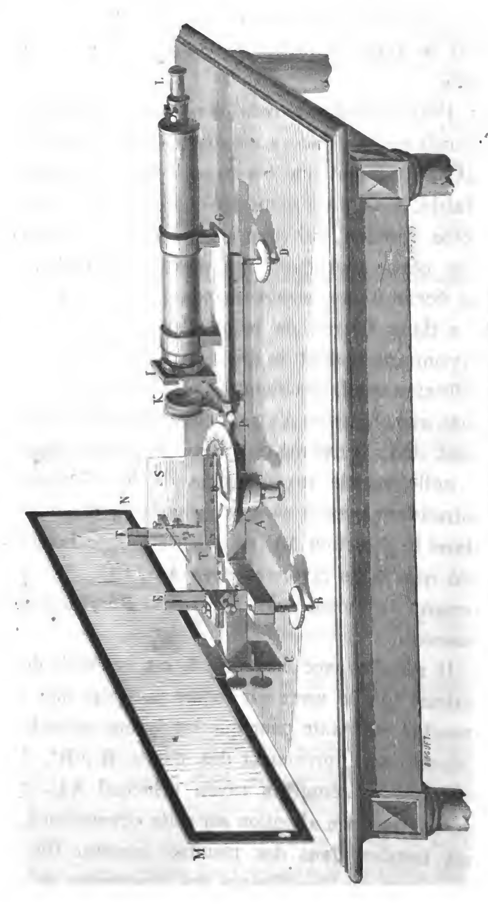


Fig. 6. — Vue perspective du photomètre de M. Arago.

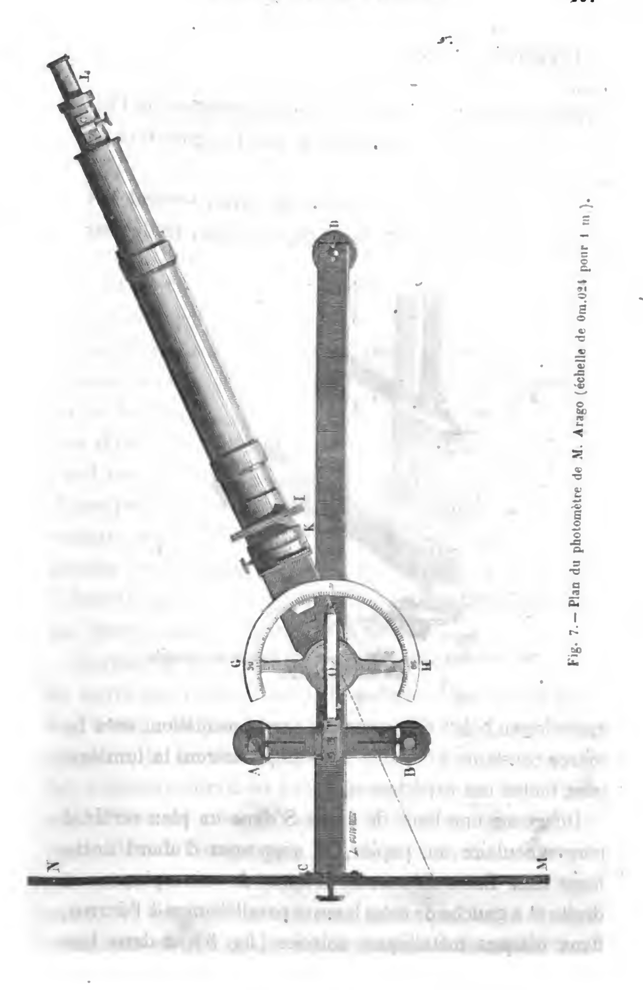


Fig. 7. — Plan du photomètre de M. Arago (échelle de 0m.024 pour 1 m.).

par l'apparition de sa tranche dans le champ de la vision.

Tout ceci étant posé, passons à la description de l'instrument représenté en perspective par la figure 6 et en plan par la figure 7.

Plaçons en face d'une fenêtre un écran vertical MN composé d'une longue bande de papier blanc, tendue sur

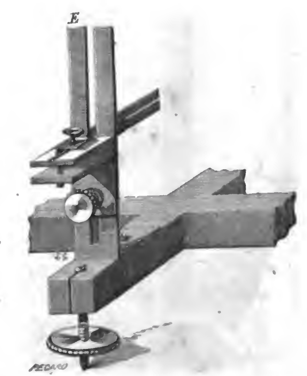


Fig. 8. — Plaque métallique noircie dans laquelle est découpée une fente horizontale.

un cadre en bois : ce papier, vu par transmission, sera la source constante à laquelle nous emprunterons la lumière pour toutes nos expériences.

Dirigeons une lame de verre S dans un plan vertical perpendiculaire au papier, et supposons d'abord cette lame fixe. Entre l'écran et la lame de verre plaçons à droite et à gauche de cette lame et parallèlement à l'écran, deux plaques métalliques noircies (fig. 8) et dans les-

quelles se trouvent découpées deux fentes horizontales qui peuvent être placées à des hauteurs légèrement différentes; la lumière de l'écran devra nécessairement passer à travers ces fentes horizontales pour tomber sur la lame de verre. Complétons cet appareil par un tuyau de lunette mobile IL, susceptible de prendre toutes les inclinaisons possibles relativement à la lame de verre, soit à droite, soit à gauche de cette lame. Ces inclinaisons sont mesurées à l'aide d'un cercle gradué GH dont les divisions sont parcourues par un vernier, le cercle GH étant attaché invariablement à la pièce T qui porte la plaque de verre. Inversement le cercle pourrait être mobile et le vernier fixé à la pièce T. Nous avons parlé d'un tuyau, et non pas d'une lunette, parce que les observations se font à l'œil nu, toutefois en s'aidant, lorsque c'est nécessaire, d'une lentille convenablement choisie pour chaque observateur et placée entre l'œil et le tuyau, de manière à rendre les bords de la fente bien terminés. La place de l'objectif est occupée par une fente verticale très-étroite qui borne ainsi le champ de la vision.

Supposons cette sorte de lunette à droite de l'écran, on verra par réflexion sur la lame la lumière qui, partant de l'écran, est passée par la fente de droite, et par transmission, la lumière provenant de la fente de gauche. Le contraire aurait eu lieu si la lunette avait été dirigée sur la lame de verre par sa gauche : alors, on aurait vu par réflexion l'image qui, dans le premier cas, se voyait par transmission, et réciproquement. On place généralement les deux fentes de telle sorte que leurs images réfléchies et transmises soient presque à la même hau-

teur, afin que leur comparaison puisse se faire plus facilement [1].

1. Voici la légende de l'appareil décrit dans le texte et représenté par les figures 6, 7 et 8, tel que l'a construit Gambey et que l'exécute maintenant M. Duboscq, successeur de M. Soleil.

Le photomètre est porté (fig. 6 et 7) par une règle de cuivre ABCD en forme de croix; la grande branche CD de la croix a $0^m.46$ de longueur et la petite branche AB, qui fait corps avec la première, a une longueur de $0^m.12$, et est fixée à environ $0^m.09$ de l'extrémité C. Trois vis calantes placées en A, B et D, à trois extrémités de la croix, servent à rendre l'instrument parfaitement horizontal. A l'extrémité C de la branche CD du pied est fixée une plaque contre laquelle on applique et serre à l'aide d'une vis le prolongement du cadre d'un écran MN en papier blanc ayant 1 mètre de longueur et $0^m.30$ de hauteur. Vers les extrémités de la petite branche AB de la croix qui forme le pied de l'instrument sont vissés deux montants E et F qui sont destinés à recevoir soit les broches noircies, soit les plaques métalliques noires présentant une fente dans leur longueur, ainsi qu'il est expliqué dans le texte. La figure 8, qui représente le montant E sur une échelle plus grande que les figures 6 et 7, montre comment avec des vis de pression on peut placer soit une plaque fendue, soit une broche à diverses hauteurs et dans des directions telles que les deux broches ou les deux fentes en regard soient à peu près parallèles. A $0^m.18$ de l'extrémité C de la branche CD se trouve placé le centre O d'un cercle gradué GH de $0^m.12$ de diamètre. Au-dessus de ce cercle se trouve placée invariablement la pièce T qui porte la plaque de verre S. Lorsque la règle horizontale OG vient à tourner librement autour du centre O du cercle gradué GH, elle entraîne un vernier dont les divisions glissent à frottement contre les divisions intérieures du cercle, de manière qu'il est toujours facile de connaître l'angle de la plaque et d'un rayon visuel dirigé à travers l'appareil KIL. Sur la règle OG se trouvent placés le petit tube K, tournant à frottement doux dans un anneau divisé, et le tube oculaire IL. Le tube K contient le prisme biréfringent, et il peut être avancé ou reculé sur la règle OG et y être fixé à l'aide d'une vis de pression P. Le tube oculaire IL, de $0^m.37$ de longueur, est noirci intérieurement; il est destiné à écarter du faisceau lumineux observé l'influence des rayons latéraux. Ce tube porte vers son extrémité oculaire un tuyau L qui peut être enfoncé ou tiré plus ou moins à l'aide d'un pignon denté et d'une crémaillère, afin que les images puissent être placées à la

Cela posé, replaçons la lunette à droite de la lame : si l'on diminue l'angle que la ligne visuelle fait avec la

distance de la vision distincte des différents observateurs. A l'extrémité objective de ce même tube est une coulisse I garnie d'une fente verticale qui borne le champ de la vision et dans laquelle s'introduit aussi la plaque de cristal de roche (fig. 4, p. 192) douée de la double réfraction en son milieu et de la réfraction simple des deux côtés. La lame de verre S qui fournit le faisceau réfléchi et le faisceau transmis qui doivent être observés à travers l'appareil KH, est serrée à l'aide de vis de pression dans une coulisse T placée au-dessus du cercle. Cette lame est ainsi maintenue dans un plan vertical passant par le centre du cercle gradué et le milieu de l'écran MN.

Cet instrument a été présenté à l'Académie des sciences dès le 11 août 1845 ; les *Comptes rendus* des séances (t. XXI) renferment les indications suivantes :

« On ne pourrait guère sans le secours de figures donner une idée exacte et suffisante de l'instrument du secrétaire perpétuel. Nous nous bornerons à dire ici qu'il est d'une manœuvre facile ; qu'il peut être employé avec sûreté, même dans les appartements où la lumière arrive de tous côtés, même en plein air ; que la double réfraction y joue un rôle important ; que M. Arago, ayant à faire varier, suivant des proportions certaines, les intensités éclairantes des surfaces auxquelles il emprunte les faisceaux réfléchis et transmis par les miroirs mis en expérience, a recours à des moyens nouveaux ; que ces moyens n'impliquent absolument rien touchant la proportion de lumière que les surfaces, comme celles du papier, par exemple, peuvent émettre, suivant leur inclinaison, suivant la force et la direction des rayons éclairants, etc., qu'ils ne donnent jamais lieu à ces images de couleurs différentes, dont la comparaison est sujette à tant de difficultés. Afin de montrer l'exactitude de ses méthodes, M. Arago a rapporté les résultats numériques d'un grand nombre d'expériences et plusieurs des lois simples et générales qu'il en a déduites. Une publication prochaine devant mettre l'ensemble de ce travail sous les yeux des physiciens, nous pouvons, pour le moment, nous borner à ces courtes explications. Nous n'ajouterons plus qu'un seul mot : M. Arago a montré comment son photomètre devient un polariscope de comparaison, quand on possède une table exacte des quantités de lumière qu'une lame de verre à faces parallèles transmet et réfléchit sous toutes les inclinaisons possibles. »

surface du verre, l'image réfléchie ira en augmentant; l'image transmise, au contraire, ira en diminuant. Une augmentation dans l'inclinaison de la ligne visuelle et de la surface du verre, aurait amené, au contraire, une diminution dans la lumière réfléchie et une augmentation dans la lumière transmise. En faisant varier cette inclinaison dans le sens convenable, il sera donc possible de saisir l'instant où les deux portions de l'image réfléchie et de l'image transmise vues à travers la fente objective auront la même intensité; en d'autres termes, on aura déterminé ainsi l'inclinaison où la lame réfléchit autant de lumière qu'elle en transmet. Cet angle, dans la lame de verre dont on s'est primitivement servi, est de **11° 8′**.

Voyons si cet appareil nous met à l'abri des différentes causes d'erreur dont l'observation pourrait être affectée.

D'abord, il est évident qu'aucune erreur ne peut résulter de l'inégalité du rayonnement provenant de l'angle d'émission, puisque dans la supposition d'une perpendicularité exacte de la lame et de l'écran, les rayons vus par réflexion sont émis sous le même angle que les rayons vus par transmission. Il pourrait arriver, il est vrai, que les points qui fournissent l'image réfléchie ne fussent pas exactement du même éclat que les points d'où partent les rayons transmis. Mais on se met facilement à l'abri de cette cause d'erreur en observant une fois par la droite, une seconde fois par la gauche de la lame et en prenant la moyenne des deux résultats ainsi obtenus. Si les points de droite, par leur plus grand éclat, rendaient l'image réfléchie trop forte et conduisaient, dans la mesure ac–

tuelle, à un angle trop grand, dans la seconde observation ces mêmes points fournissant l'image transmise donneraient un angle trop petit; en supposant l'inégalité légère, la moyenne des deux déterminations doit conduire à un résultat presque mathématiquement exact.

On pourra remarquer que les deux images réfléchies et transmises ne tombant pas sur la rétine à la même hauteur, le jugement est affecté de l'inégale sensibilité des différentes parties de cet organe : l'image réfléchie, par exemple, peut paraître plus lumineuse que l'image transmise, non parce qu'elle l'est réellement, mais parce que la portion de la rétine où elle se forme est plus sensible que celle qui correspond à l'image transmise. Mais remarquons que l'image réfléchie devient l'image transmise lorsque après avoir fait une observation à droite, on la répète à gauche; en sorte que la moyenne des deux déterminations se trouve indépendante de la cause d'erreurs très-délicate que nous venons d'indiquer.

Une troisième cause d'erreur peut dépendre d'une position défectueuse de la plaque relativement au rayon du cercle gradué à partir duquel on compte les inclinaisons. Cette erreur, que les astronomes appellent dans leurs instruments l'erreur de collimation, est évidemment détruite lorsqu'on prend la demi-somme des observations faites à droite et à gauche.

Au surplus l'angle de 11° 8′, ainsi déterminé, va nous servir de criterium pour étudier expérimentalement les propriétés de notre écran; il nous servira en particulier à décider s'il est nécessaire de s'astreindre à établir une perpendicularité rigoureuse entre les faces de la lame et

la surface de l'écran. Supposons, en effet, qu'on déplace notre photomètre parallèlement à lui-même devant l'écran et qu'on ne compare cette fois que les observations faites d'un seul côté : on trouvera que l'instrument peut être transporté jusqu'à cinquante centimètres à gauche et à droite de sa position primitive (c'était le déplacement que comportait la monture de notre photomètre) sans aucune altération sensible dans les résultats; ce qui prouve que, dans l'étendue de un mètre, l'écran est partout également lumineux.

Le photomètre étant revenu à sa position initiale, on l'a incliné, en le faisant tourner sur lui-même, en telle sorte que la lame de verre allât rencontrer l'écran de papier sous des inclinaisons variables. Dans des expériences où cette inclinaison a été écartée jusqu'à 20° de la perpendiculaire, ce qui correspond à des angles d'émission variant de 88° à 63°, on a toujours trouvé en moyenne 11° 8′ pour l'inclinaison où la lumière transmise était égale à la lumière réfléchie; ce qui impliquait une parfaite égalité entre la lumière émise sous l'incidence perpendiculaire et sous une inclinaison de 63°.

Il faut bien remarquer que ces résultats pourraient ne pas être vrais pour un écran d'une autre nature ou autrement placé; ce qui nous importait et ce qu'il fallait établir, c'est que celui dont nous nous servions jouissait incontestablement des propriétés énoncées.

Il y a, dans ce genre d'expériences, des difficultés imprévues et dont il est indispensable de tenir compte. Nous avons, par exemple, remarqué que l'observation des deux fentes lumineuses réfléchies et transmises lorsque la

totalité de l'œil se trouve dans l'obscurité est fatigante et un peu plus incertaine que celle par laquelle nous l'avons remplacée ordinairement et dont nous allons rendre compte.

Enlevons totalement les plaques noircies de droite et de gauche, et fixons devant l'écran deux broches noircies occupant l'ancienne place des fentes [1]; replaçons de nouveau la lunette visuelle à droite de la lame de verre. La lumière de l'écran tombe en plein sur cette plaque et ne paraît interceptée que dans la direction qui va de l'écran à la broche noire; l'œil voit comme une sorte d'ombre de cette broche par réflexion, ce qui n'empêche pas la lumière transmise d'arriver librement à l'œil dans la direction de cette ombre. La broche située du côté opposé se projette sur l'écran et empêche la lumière correspondante de parvenir à l'œil; cette broche forme donc elle-même une sorte d'ombre par transmission, sur laquelle viennent se peindre les rayons de l'écran réfléchis sur la lame de verre. On a ainsi le champ général de la plaque de verre éclairé à la fois par la lumière réfléchie et par la lumière transmise sur lequel viennent se dessiner une image de la broche réfléchie, éclairée par la totalité de la lumière transmise, et une image de la broche transmise, éclairée par la totalité de la lumière réfléchie par la lame de verre. Il est évident que l'observation des deux broches ainsi éclairées doit conduire au même résultat que l'observation des deux fentes; il n'y a de dif-

1. Les broches dont il est ici question dans le texte sont figurées dans les dessins du photomètre donnés plus haut (fig. 6 et 7, p. 196 et 197), à la place des plaques noircies, qui sont d'un emploi plus difficile.

férence qu'en ce point que dans le premier cas la lumière des deux fentes était entourée d'une obscurité complète, tandis que dans le second la lumière équivalente des deux broches est entourée d'un fond lumineux. Cette circonstance rend l'observation moins pénible, sans lui rien ôter de son exactitude, ce qui ne pourrait être expliqué que physiologiquement.

Nous avons rendu compte tout à l'heure de l'observation qui nous a conduit à déterminer l'inclinaison sous laquelle la lumière réfléchie est égale à la lumière transmise; on comprendra facilement que ce même système d'observations conduira à la détermination de l'angle sous lequel la lumière réfléchie est la moitié de la lumière transmise.

Supposons, en effet, qu'au lieu de viser à cette lumière transmise à l'œil nu, on lui fasse traverser la partie centrale des plaques en biseau que nous avons décrite plus haut, tandis que l'image réfléchie passera à travers la partie de ces plaques dépourvue de la double réfraction; en faisant varier graduellement la position de la lunette, on trouvera l'inclinaison sous laquelle l'une des images prismatiques de la lumière transmise est égale à la totalité de l'image réfléchie. Toutefois la lumière transmise étant polarisée par réfraction et donnant naissance, en général, dans son passage à travers les biseaux de la plaque à deux images d'intensités inégales, il faudra avoir l'attention de placer cette plaque dans la position où les deux images prismatiques auront exactement la même intensité, ou, ce qui revient au même et est ordinairement plus commode, il faudra placer, sur le trajet du

rayon transmis et du rayon réfléchi, une lame de cristal de roche à faces parallèles, taillée parallèlement à l'axe et qui, par son action, ramène la lumière polarisée qui la traverse à deux faisceaux polarisés rectangulairement, en telle sorte qu'en traversant la portion en biseau de la plaque cette lumière doive nécessairement se partager en deux faisceaux de même intensité. On conçoit qu'il soit possible, en employant deux prismes au lieu d'un seul, d'arriver (pourvu qu'on emploie des moyens convenables pour réduire toujours les images successivement dédoublées à l'égalité) à déterminer l'inclinaison sous laquelle la lumière réfléchie est le quart de la lumière transmise. La même méthode appliquée à la lumière réfléchie sous des angles plus petits conduira à la connaissance des angles dans lesquels la lumière réfléchie est le double et le quadruple de la lumière transmise.

Pour se rendre indépendant, dans ce nouveau genre d'observations, de l'inégale sensibilité des différents points de la rétine, on déplace, dans des observations successives, les fentes ou les broches, en telle sorte que la partie dédoublée soit tantôt au-dessus et tantôt au-dessous de celle qui n'a pas éprouvé de bifurcation.

Par ces méthodes convenablement appliquées on a déterminé :

L'angle de 4° 32′ sous lequel la lumière réfléchie par une plaque est quadruple de la lumière transmise ;

L'angle de 7° 1′ sous lequel la lumière réfléchie est double de la lumière transmise ;

L'angle de 11° 8′ sous lequel la lumière réfléchie est égale à la lumière transmise ;

L'angle de 17° 17′ sous lequel la lumière réfléchie est la moitié de la lumière transmise;

L'angle de 26° 38′ sous lequel la lumière réfléchie est le quart de la lumière transmise.

En comparant la lumière réfléchie au quart de la lumière de la fente se projetant librement sur l'écran, on a pu, en dehors de la série précédente, déterminer l'angle sous lequel la lumière réfléchie est le quart de la lumière totale. Or, si un quart de la lumière totale est réfléchi, les trois quarts sont transmis; donc l'angle de 21° 39′ ainsi déterminé est celui pour lequel la lumière réfléchie est le tiers de la lumière transmise.

Partant de ces expériences qui donnent six déterminations pour un intervalle d'environ 22°, MM. Laugier et Petit ont pu, à ma prière, sans aucun scrupule, déterminer, par les formules connues d'interpolation, les quantités de lumière réfléchie et transmise pour chaque degré d'inclinaison compris entre les angles déterminés directement.

Table des quantités de lumière réfléchie et de lumière transmise sous diverses inclinaisons par une lame de verre à faces parallèles.

Angles d'incidence.	Lumière réfléchie.	Lumière transmise.
4°	0.7643	0.2357
6	0.7060	0.2940
8	0.6260	0.3740
10	0.5346	0.4654
12	0.4685	0.5315
14	0.4097	0.5903
16	0.3604	0.6396
18	0.3190	0.6810
20	0.2806	0.7194

Angles d'incidence.	Lumière réfléchie.	Lumière transmise.
22°	0.2437	0.7563
24	0.2121	0.7879
26	0.1977	0.8023
28	0.1878	0.8122
30	0.1793	0.8207
32	0.1721	0.8279
34	0.1671	0.8329
36	0.1609	0.8391
40	0.1525	0.8475
44	0.1458	0.8542
48	0.1400	0.8600
52	0.1341	0.8658
56	0.1282	0.8718
60	0.1215	0.8785
64	0.1148	0.8852
68	0.1080	0.8920
72	0.1012.	0.8988
76	0.0944	0.9056
80	0.0876	0.9124
84	0.0850	0.9150
88	0.0824	0.9176
90	0.0812	0.9188

Angles directement déterminés par l'expérience et qui ont servi à construire la Table précédente.

Angles d'incidence.	Lumière réfléchie en partie de la lumière incidente.
4° 32′	0.7500
7 1	0.6667
11 8	0.5000
17 17	0.3333
21 39	0.2500
26 38	0.2000
36 36	0.1595
46 22	0.1423
56 17	0.1280
70 26	0.1028
89 26	0.0810

A l'aide des nombres contenus dans cette première table de résultats directs et interpolés, nous allons vérifier la loi du carré du cosinus, non plus, comme nous l'avons déjà fait[1], pour des rayons marchant confondus, mais bien pour des rayons restant continuellement séparés.

Concevons que la fente d'une des plaques noircies se projette sur l'écran, immédiatement au-dessus de la plaque de verre; que la seconde fente, placée un peu plus bas, laisse arriver sur le verre la lumière de l'écran, qui sera vu ainsi par réflexion; décomposons la première lumière à l'aide de la partie en biseau des plaques dont nous nous sommes déjà servis et ne tenons compte que de l'image ordinaire ainsi obtenue ; décomposons la lumière de cette image ordinaire à l'aide d'un nouveau prisme dont la section principale puisse être exactement déterminée de position par rapport à celle du premier à l'aide d'un cercle gradué. Le mouvement de rotation de ce second prisme enlèvera à la lumière de l'image ordinaire fournie par le premier des quantités plus ou moins considérables de rayons, suivant que les sections principales des deux prismes formeront entre elles de plus grands angles. Dans chaque position on pourra comparer l'image ordinaire ainsi affaiblie à l'image située immédiatement au-dessous et fournie par la réflexion de la plaque de verre. En faisant varier la position de la ligne visuelle, on déterminera l'inclinaison sous laquelle l'image réfléchie est égale à ce qui reste d'intensité à l'image ordinaire : si cette image réfléchie est connue, et la table d'interpola-

1. *Premier Mémoire sur la photométrie*, p. 179 de ce volume.

tion la donne exactement, on aura donc les moyens de savoir si les intensités de l'image ordinaire sont conformes à celles que donne la loi du carré du cosinus.

Vérification faite, l'intensité de l'image ordinaire calculée par la loi du carré du cosinus est toujours représentée à un très-petit nombre de centièmes près, par les nombres inscrits dans la table d'interpolation.

Voici les résultats numériques obtenus dans deux de ces expériences :

1° Les sections principales des deux prismes formant entre elles un angle de 30°, l'image ordinaire à laquelle on visait se trouvait affaiblie. Supposons que ce soit dans le rapport du carré du cosinus, ce qui reste de lumière à cette image est exprimé par 0.375.

D'un autre côté, cette image ainsi affaiblie était égale à celle de la broche réfléchie sur la lame de verre lorsqu'on l'examinait sous l'inclinaison de 14° 48′, ce qui, d'après la table d'interpolation, correspond à une intensité représentée par 0.390.

2° Une seconde observation faite lorsque les sections principales des deux cristaux formaient entre elles un angle de 15° a donné respectivement :

Pour l'image affaiblie suivant la loi du carré du cosinus..................................	0.466
Pour cette intensité déterminée directement, le nombre..................................	0.467

Il importe de remarquer que la table d'intensités, telle que nous l'avons formée, donne les rapports de la lumière réfléchie à la lumière transmise, en tenant compte, en bloc, des rayons qui peuvent être éteints par les surfaces

dans l'acte de la réflexion ou de la transmission, et que cette table ne conduira à la vérification réelle de la loi du carré du cosinus que dans l'hypothèse où les extinctions de lumière dont nous venons de parler seront insensibles.

Il est très-nécessaire d'étudier d'une manière spéciale ce point de la question, afin de donner leur vraie signification aux nombres que la table renferme. Voici comment on s'y est pris pour décider si ces extinctions de lumière que la théorie devait prévoir, sont sensibles ou peuvent être négligées.

La lame de verre qui fait partie du photomètre étant dirigée perpendiculairement à l'écran, et la lunette étant sous l'inclinaison de 11° 8′, auquel cas l'image directe et l'image réfléchie sont égales, on place sur la route du rayon transmis, par exemple, et à quelque distance, une seconde lame de verre parallèle à la première. Cette seconde lame amène simultanément sur la première des rayons réfléchis sous l'angle de 11° 8′ et des rayons transmis sous le même angle ; pour tout dire, en deux mots, on substitue à la lumière qui venait directement de l'écran par voie de transmission deux faisceaux qui, réunis, doivent former cette lumière arrivant directement de l'écran sur la lame, si les rayons réfléchis et transmis n'ont éprouvé aucune extinction, et une lumière affaiblie de toute la perte éprouvée par les faisceaux réfléchi et transmis, si perte il y a. Dans ce dernier cas, au lieu de 11° 8′, pour l'angle sous lequel les deux lumières sont égales, on aurait dû trouver un angle plus grand, ce qui est contraire aux observations.

L'interposition de la lame auxiliaire, non plus dans

une direction parallèle à la lame de verre du photomètre, mais dans une direction oblique, a donné précisément le même résultat.

Nous pouvons donc conclure, et ce résultat est d'une extrême importance, qu'il ne s'éteint (quoi qu'on en ait pu dire) une portion sensible de lumière ni dans l'acte de la réflexion ni dans celui de la transmission ; en sorte que la table que nous avons formée donne bien réellement les proportions de la lumière réfléchie et de la lumière transmise.

Je viens de mettre sous les yeux de l'Académie la table photométrique complète renfermant, pour toutes les inclinaisons comprises entre une direction rasante et une direction perpendiculaire, les quantités respectives de lumière transmise et de lumière réfléchie par une lame de verre à faces parallèles.

Je ferai remarquer cependant qu'il me reste encore à expliquer comment on est passé des premières inclinaisons aux incidences voisines de la perpendiculaire. Cette explication est nécessaire, car la méthode exposée jusqu'ici n'a été appliquée que jusqu'à l'angle de 26°. Il est vrai qu'on aurait pu aller au delà de cet angle, si l'on n'avait été détourné de déterminer l'inclinaison sous laquelle la lumière réfléchie est le huitième de la lumière transmise, par quelques difficultés de détail qui d'ailleurs ne sont pas insurmontables. Au delà, il faut indispensablement recourir à d'autres procédés que j'exposerai dans mon troisième Mémoire sur la photométrie.

Il restera à chercher le pouvoir réfringent du verre dont étaient formées les lames que j'ai employées. Cette

détermination exigera simplement qu'on détache de petites portions de ces lames et qu'on leur donne la forme prismatique. L'indice de réfraction annexé à la table sera, au point de vue de l'optique, la véritable définition de mes lames de verre.

Dans le troisième Mémoire annoncé, et que j'aurai l'honneur de présenter à l'Académie sous peu de jours, je ferai voir comment on passe des nombres contenus dans cette table aux déterminations des quantités de lumière réfléchie par la première surface du miroir de verre, et par les métaux polis; comment on peut arriver aussi à résoudre définitivement plusieurs questions importantes à l'égard desquelles les physiciens étaient en complet désaccord.

Je n'ajoute plus qu'un mot, pour répondre à une question qui m'a été faite depuis ma première communication. Cette question, la voici : N'auriez-vous pas pu vous servir du photomètre de Leslie pour résoudre les problèmes dont vous nous avez entretenus? — Ma réponse est très-simple : Indépendamment de plusieurs difficultés spéciales dont je n'entreprendrai pas ici l'énumération, je ferai remarquer que l'instrument auquel notre célèbre confrère avait donné le nom de photomètre, agissait à la fois par absorption de la lumière et de la chaleur obscure qui l'accompagne, de telle sorte que cet instrument, ainsi que je l'ai découvert il y a bien des années[1], monte lorsqu'on l'expose à la lumière du Soleil, descend lorsqu'il est frappé par la lumière du feu, et reste à peu près

1. Voir l'Appendice qui termine ce volume.

stationnaire sous l'action de la lumière partant d'une lampe d'Argand. Ce seul fait suffit pour montrer combien peu le photomètre de Leslie serait applicable à la formation de tables d'intensité pareilles à celle que j'ai présentée. Néanmoins, je me propose de me servir de cette singularité dans la marche du photomètre de Leslie pour résoudre une question importante relative aux réflexions comparatives de la lumière et de la chaleur.

TROISIÈME

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE

LU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 15 AVRIL 1850[1]

I

ÉVALUATION DES QUANTITÉS DE LA LUMIÈRE RÉFLÉCHIE ET DE LA LUMIÈRE TRANSMISE PAR UNE LAME DE VERRE SOUS LES PLUS GRANDS ANGLES

Des physiciens qui veulent me faire l'honneur de répéter mes expériences photométriques, ont sollicité quelques éclaircissements sur l'emploi des appareils dont je me suis servi.

1. Mémoire inédit dont les *Comptes-rendus* hebdomadaires des séances de l'Académie contiennent seulement l'extrait suivant :

« Dans ses deux premières communications l'auteur avait montré comment il est possible de former une table des quantités de lumière réfléchie et transmise par une lame de verre pour de petites inclinaisons comptées à partir de la surface, pour les inclinaisons comprises entre 4 et 26 degrés.

« Il a montré aujourd'hui de quelle manière il est possible de passer de ces premiers résultats aux nombres qui représentent les quantités de lumière réfléchie et transmise sous les plus grands angles.

« Ainsi, les physiciens connaissent dans tous ses détails la méthode par laquelle a été formée la table photométrique mise sous les yeux de l'Académie, et résultant des expériences et des calculs faits par MM. Laugier et Petit, sous la direction de M. Arago.

« L'auteur du Mémoire a montré ensuite comment cette méthode

Ils demandent, par exemple, comment on peut s'assurer que la lame de cristal de roche que j'ai substituée au prisme analyseur dans les expériences relatives à la vérification de la loi du carré du cosinus est exactement parallèle aux arêtes du prisme hexaèdre.

Je réponds que cet exact parallélisme n'est nullement nécessaire. Il suffit que la lame employée ne soit pas perpendiculaire à l'axe du cristal, car, dans ce cas, au lieu des phénomènes décrits, on aurait les phénomènes de rotation dont M. Biot s'est tant occupé, et que j'avais découverts dès l'année 1811[1].

peut être appliquée à la détermination de la perte de lumière qui s'opère par la réflexion à la surface des métaux. Les expériences ont porté sur des miroirs de platine, d'acier, et sur l'alliage dont on se sert pour la fabrication des miroirs de télescope. Mais comme ces miroirs n'étaient pas, au point de vue chimique, d'une très-grande pureté, les expériences seront renouvelées prochainement.

« Dans ce nouveau travail, l'auteur a particulièrement porté son attention sur les pertes de lumière très-considérables annoncées par Bouguer, qui se feraient dans l'acte de la réflexion totale à la seconde surface des corps et même dans les incidences où ne s'opère qu'une réflexion partielle. Ses observations n'indiquent aucune perte appréciable. Bouguer, pour l'angle de la réflexion totale, avait fixé la perte au tiers ou au quart de la lumière incidente; M. Potter avait déjà constaté l'inexactitude de ce résultat; les nouvelles observations de M. Arago prouvent que la perte, si perte il y a, ne se monte certainement pas au centième du total.

« Dans la dernière partie de son Mémoire communiquée à l'Académie dans cette séance, M. Arago s'est attaché à évaluer en nombres la sensibilité du polariscope. Il a trouvé que cet instrument accuse sans équivoque dans un faisceau $\frac{1}{80^e}$ de lumière polarisée. On peut regarder ce chiffre comme donnant le degré de sensibilité moyenne d'un œil non fatigué, car MM. Laugier, Petit et Charles Mathieu sont arrivés au même résultat. »

1. Voir précédemment p. 56.

On me demande encore comment je m'assure que la lame substituée au prisme analyseur est perpendiculaire au rayon qui la traverse.

Comme cette perpendicularité rigoureuse n'est nullement nécessaire à la réussite de l'expérience, il n'y a pas lieu de chercher à l'établir, non plus que l'exact parallélisme des deux faces de la lame.

Ainsi, au lieu des expressions contenues dans le premier Mémoire, il faudra dire : supposons qu'on prenne une lame de cristal de roche, à faces à peu près parallèles, taillée dans une direction à peu près parallèle aux arêtes du prisme hexaèdre, et qu'on la place dans une direction à peu près perpendiculaire au rayon polarisé qui la traverse ; la lame aura, mathématiquement parlant, la double réfraction, et l'explication contenue dans le Mémoire ne pourra plus donner lieu à aucune difficulté.

Avant d'entrer dans le fond des questions qui seront l'objet spécial de ce troisième Mémoire, je ferai remarquer que les comparaisons que l'on réclame entre la théorie et l'expérience, formeront un chapitre à part ; mais que j'ai cru convenable de développer d'abord les résultats des expériences directes, sans les mêler à aucune considération théorique.

Passons maintenant à l'indication des moyens à l'aide desquels nous avons évalué les quantités de lumière réfléchie et transmise par une lame de verre sous les incidences peu éloignées de 90° (en comptant à partir de la surface).

Nous possédons déjà une table qui donne les quantités de lumière réfléchie et transmise par une lame de verre à

faces parallèles, pour les incidences comprises entre 4° et 26°.

Cette table a été formée à l'aide d'expériences qui exigeaient impérieusement que la lumière venant de l'écran et renvoyée à l'œil par la réflexion de la lame eût une intensité exactement égale à la lumière venant d'un autre point du même écran et qui parvenait à l'œil par voie de transmission. Mais les résultats obtenus sur les quantités de lumière réfléchie et transmise par la lame et que la table renferme, n'en sont pas moins généraux; ils s'appliquent donc également à des rayons partant de points de l'écran qui n'auraient pas exactement la même intensité. Ainsi, lorsque par cette méthode on trouve que la lumière transmise sous un certain angle est, par exemple, les 7/10es de la lumière incidente, ce résultat est général, et ne renferme aucune trace du mode de démonstration à l'aide duquel on l'a obtenu.

Cela posé, plaçons sur le trajet du rayon qui doit arriver à l'œil par transmission une lame de verre dans une direction plus ou moins inclinée par rapport au faisceau qui la traversera; cette lame arrêtera une partie du faisceau incident provenant de l'écran, le rayon arrivera donc à la lame fixe du photomètre un peu affaibli; c'est la quantité de cet affaiblissement que nous voulons déterminer. Or, supposons que nous nous soyons assurés que c'est, par exemple, sous l'angle de 19° 20′ que l'image réfléchie, provenant de la lumière qui arrive directement sur le miroir du photomètre, est égale à la lumière transmise affaiblie par la lame de verre que nous avons inter-

posée sur le trajet des rayons. Ceci en langage algébrique correspond à cette équation :

0.3 d'un certain faisceau = 0.7 de ce même faisceau affaibli ;

par conséquent,

$$\text{le faisceau affaibli} = \text{le faisceau direct} \times \frac{0.3}{0.7}.$$

On voit que cette méthode donne le degré d'affaiblissement que la lumière de l'écran éprouvera sous toutes sortes d'angles, lorsque la table est préalablement construite pour des incidences voisines de la surface.

Citons un second exemple numérique, afin de rendre l'intelligence de la méthode plus facile. Sous l'angle de 11° 42′ l'image réfléchie provenant librement d'un point de l'écran est égale à l'image transmise provenant d'un point de l'écran également éclairé, mais préalablement affaiblie, avant d'arriver au miroir fixe du photomètre, par l'interposition d'une lame de verre sous l'angle de 87° 24′. La table (p. 208) nous donne pour cet angle de 11° 42′ les quantités 0.4784 pour la lumière réfléchie, et 0.5216 et pour la lumière transmise.

Donc,

0.4784 du faisceau non modifié = 0.5216 du faisceau affaibli,

ou,

$$\text{Le faisceau affaibli} = \frac{0.4784}{0.5216} \text{ du faisceau non modifié} = 0.9172$$
de ce dernier faisceau.

Par conséquent sous l'angle de 87° 24′ une lame de verre transmet les 0.9172 de la lumière incidente et en réfléchit les 0.0828.

On comprendra par cet exemple comment ont été faites les expériences qui ont permis de prolonger jusqu'à l'incidence perpendiculaire la table rapportée dans notre second Mémoire sur la photométrie (p. 209) relativement aux quantités de lumière réfléchie et transmise par une lame de verre.

II

ÉVALUATION DE LA PERTE DE LUMIÈRE A LA SURFACE DES MÉTAUX

L'évaluation de la perte subie par la lumière dans sa réflexion sur les métaux ne date guère, à proprement parler, que des observations de Bouguer. On trouve, en effet, dans un Mémoire où Huygens examine les avantages du télescope de Newton, l'idée très-explicitement exprimée qu'un miroir métallique bien poli réfléchit la totalité de la lumière qui le frappe. Voici les propres paroles de Huygens : « Par la réflexion du miroir de métal, il ne se perd pas de rayons ». Ce résultat, dont l'inexactitude doit d'autant plus étonner que Huygens unissait à la qualité d'illustre géomètre celle d'expérimentateur habile, fut rectifié par les observations de Bouguer.

Ce savant académicien dit (sans spécifier d'ailleurs la nature chimique de l'alliage, ni les procédés à l'aide desquels on les avait polis) que sur des miroirs de métal, la quantité de lumière réfléchie, pour l'inclinaison de 15° à partir de la surface, est de 561 pour 1,000 de lumière incidente.

De plus, il a trouvé invariablement que la quantité de lumière réfléchie va en augmentant à mesure que l'inclinaison diminue. Ainsi, cette lumière qui était 561, sous l'inclinaison de 15°, dépasse 700 pour 1,000, dans les inclinaisons comprises entre 11° et 3°. (*Traité d'Optique*, liv. II, 2e sect.)

Ce dernier résultat (l'augmentation de lumière réfléchie par une diminution dans l'inclinaison) est formellement contredit par les expériences de M. Potter, qui trouve que la quantité de lumière réfléchie va en augmentant à mesure que l'angle d'incidence augmente, et il donne même les valeurs numériques de cette augmentation. Il était important, d'après ces résultats contradictoires, de soumettre ce point de photométrie à de nouvelles épreuves.

La méthode dont je me suis servi pour cela est analogue à celle qui nous a donné l'affaiblissement produit sur la lumière par sa transmission à travers des lames de verre.

On cherche l'angle sous lequel la lumière de l'écran réfléchie par le miroir et vue par transmission à travers la lame fixe du photomètre est égale à la lumière vue par réflexion et arrivant librement de l'écran à cette même lame.

La table photométrique rapportée plus haut et dont nous avons déjà fait usage donne, pour l'angle ainsi déterminé, les proportions de lumière réfléchie et transmise : la première arrivant directement de l'écran sur la lame fixe du photomètre ; l'autre, la seconde, parvenant à l'œil par transmission après avoir été affaiblie par le miroir.

Ces deux quantités étant égales par hypothèse, on en déduit par la solution d'une simple équation du premier degré la quantité de lumière perdue sur le métal.

Voici les résultats des expériences :

	Intensité du faisceau réfléchi sous l'angle de 16°	Intensité du faisceau réfléchi sous l'angle de 36°	Perte de lumière réfléchie sous l'angle de 36° par rapport à celle réfléchie sous l'angle de 16° représentée par 100.
Platine poli au papier.	0.68	0.54	20
Acier poli au drap....	0.68	0.44	35
Miroir de télescope...	0.57	0.46	19

Ces résultats prouvent avec une entière évidence que l'intensité de la réflexion augmente à mesure que l'inclinaison comptée à partir de la surface diminue. Cette augmentation ne suit pas la même loi pour tous les métaux.

A quoi attribuer la discordance radicale entre nos résultats et ceux de M. Potter? Est-ce à la nature du poli, à la direction des raies formées dans le métal par le polissoir? C'est ce qui reste à décider.

Mes expériences ont été faites sur des miroirs que j'ai trouvés dans ma collection, où ils existent depuis un grand nombre d'années. M. Pelouze, notre confrère, à qui M. Laugier les a soumis pour qu'il en déterminât la nature chimique, a constaté que les miroirs de platine ne sont pas purs, qu'ils renferment, par exemple, un peu de cuivre. Ces expériences doivent donc être recommencées avec des métaux parfaitement purs, ou avec des alliages bien déterminés. Ce serait, suivant les méthodes photométriques ordinaires, un travail considérable; mais telle est la simplicité des procédés dont je fais usage,

qu'il suffira d'un ou deux jours d'expériences pour obtenir les nouveaux résultats, lorsque les miroirs à essayer auront été fournis par les opticiens.

III

PRÉTENDUE PERTE DE LA LUMIÈRE DANS L'ACTE DE LA RÉFLEXION TOTALE

Lorsqu'un rayon se présente à la deuxième surface d'un verre pour en sortir, il s'éloigne de la perpendiculaire en obéissant à la loi des sinus découverte par Descartes. D'après cette loi le sinus de l'angle du rayon dans l'air est égal au sinus de l'angle dans le verre, multiplié par un nombre plus grand que 1, nombre qu'on appelle l'indice de réfraction. Si l'angle dans le verre est tel que ce produit soit lui-même plus grand que 1, on arrive à ce résultat que le sinus de l'angle que forme le rayon sortant avec la perpendiculaire devrait être plus grand que l'unité, ce qui est impossible. Qu'arrive-t-il dans cette circonstance au rayon sortant? Pour se conformer à la loi mathématique dont nous venons de parler, le rayon ne sort pas, il reste dans le verre en subissant ce qu'on appelle la réflexion totale.

Dans l'acte de cette réflexion, qu'arrive-t-il? Le rayon incident se meut-il entièrement dans le verre après s'être réfléchi, comme semble vouloir le dire le mot de réflexion totale, ou s'en éteint-il une partie? Telle est la question capitale que nous allons examiner.

Cette question a été traitée et résolue par Bouguer. De tous les résultats contenus dans son Traité, il n'y en

aurait pas, s'ils étaient exacts, de plus dignes d'attention que ceux qu'il a obtenus sur la perte, sur l'extinction que la lumière éprouverait dans l'acte de sa réflexion à la première et surtout à la seconde surface d'un morceau de verre.

« Lorsqu'un trait de lumière, dit-il, tombe sur la seconde surface d'une lame de verre sous une incidence de 10°, de 20° ou de 30°, la surface éteint environ le tiers ou le quart des rayons, et en réfléchit les deux tiers ou les trois quarts. » (Page 146.)

L'auteur répète cette proposition à la page 148, où l'on trouve, à propos de la réflexion totale : « La réfraction ne se fait plus, elle se change en réflexion. La lumière rejaillit donc seulement en dedans, et il y a en même temps une partie de la lumière qui est éteinte. »

Ce résultat, indépendamment de ce qu'il présente de curieux au point de vue théorique, intéresse au plus haut degré l'art de construire les instruments d'astronomie. C'est dans ce double intérêt que je m'étais attaché, depuis longues années, à vérifier le fait annoncé par Bouguer; mais en relisant son ouvrage, en voyant les termes si catégoriques par lesquels il annonce l'énorme perte d'un tiers ou d'un quart de la lumière incidente dans l'angle de la réflexion totale et dans les angles plus petits, j'ai senti le besoin, avant de contredire publiquement un si habile expérimentateur, de soumettre le point en litige à de nouvelles épreuves.

Voici comment M. Laugier a opéré pour lever tous mes doutes :

On a d'abord dirigé le rayon visuel sur la plaque

centrale du photomètre, de manière que la lumière réfléchie fût égale à la lumière transmise. Comme nous l'avons déjà dit tant de fois, l'inclinaison de la ligne visuelle sur la plaque était de 11° 8′. Ensuite on a fait arriver sur la plaque, pour être transmis, un rayon qui avait éprouvé la réflexion totale sur l'hypoténuse d'un prisme de verre. Quant au rayon destiné à être réfléchi, avant de tomber sur la plaque il traversait un cube du même verre, dont les dimensions avaient été calculées de manière que l'épaisseur traversée fût exactement égale au chemin parcouru dans le prisme par le rayon qui y avait éprouvé la réflexion totale. Par là les absorptions, si absorptions sensibles il y avait, devaient être exactement pareilles de part et d'autre. Le cube et le prisme étaient d'ailleurs disposés de telle sorte que les rayons rencontraient les faces d'entrée et de sortie sous des inclinaisons égales, et y éprouvaient conséquemment, par voie de réflexion, les mêmes affaiblissements.

Dans cette nouvelle disposition de l'expérience, l'image transmise a paru égale à l'image réfléchie quand l'angle était, non plus de 11° 8′, mais de 11° 9′. En admettant cette différence de 1′ comme réelle, on aurait pour la perte de lumière correspondante à la réflexion un millième environ de la lumière incidente.

Des expériences antérieures faites avec un autre prisme et un autre cube, par MM. Laugier et Petit, ayant donné 11° 10′ pour l'angle sous lequel la lumière réfléchie est égale à la lumière transmise, il en résulterait encore une perte de lumière inférieure à deux millièmes.

On voit combien ces résultats sont complétement en désaccord avec les expériences de Bouguer.

Il est juste d'ajouter que depuis mes premières expériences il était intervenu des observations de M. Potter qui contredisaient déjà formellement les résultats de l'académicien français.

IV

PRÉTENDUE PERTE DE LA LUMIÈRE DANS L'ACTE DE LA RÉFLEXION A LA PREMIÈRE SURFACE DU VERRE ET A LA SECONDE SURFACE, DANS LES INCIDENCES SUPÉRIEURES A CELLES OU S'OPÈRE LA RÉFLEXION TOTALE

J'ai déjà rendu compte des expériences à l'aide desquelles je m'étais assuré qu'il ne se perd sensiblement aucune lumière, ni à la première, ni à la seconde surface d'une lame de verre. Mais j'ai remarqué tout récemment, en me faisant relire l'*Optique* de Bouguer, le passage suivant : « Dans les angles plus grands que ceux où s'opère la *forte réflexion*, il y a une petite partie de rayons amortis ou éteints. » (Page 145.) Cette assertion se retrouve, dans la même teneur, à la page 149, et dans la section suivante relative aux réflexions sous de grandes inclinaisons.

« Soupçonnant, dit-il, que la surface du corps diaphane qui éteint une partie de la lumière par leur partie intérieure dans les petites incidences, conserve quelque chose de cette propriété dans les plus grandes incidences, j'ai cherché à démêler l'effet de cette extinction de lumière. D'après ces expériences, la deuxième face du verre éteindrait la seizième partie d'un faisceau qui

serait entré sous une incidence comprise entre 75° et 90°. » (Page 156.)

Et plus loin on lit encore :

« Pendant que je prendrais une trente-sixième partie pour l'affaiblissement causé par la réflexion extérieure dans les grands angles, et une vingt-huitième pour la réflexion intérieure contre la face de sortie, je prendrais une portion semblable pour l'extinction du rayon qui se fait dans le même temps. » (Page 160.)

La juste déférence que l'on doit avoir pour une opinion énoncée en termes si catégoriques par un observateur du mérite de Bouguer, m'a inspiré le désir de soumettre de nouveau son assertion à des épreuves décisives.

J'ai donc prié M. Laugier de recommencer nos anciennes expériences, en se servant d'une lame mince d'un verre très-diaphane et à faces parallèles. Cette lame, placée sur le trajet du rayon transmis, envoyait à la fois sur la lame centrale la lumière de l'écran que cette lame réfléchissait et celle qu'elle transmettait, c'est-à-dire la lumière totale, moins la perte qu'elle peut éprouver par réflexion et par transmission.

Avant l'interposition de la lame, l'angle sous lequel la lumière transmise égalait la lumière réfléchie était toujours 11° 8'; l'expérience, répétée après l'interposition, a donné 11° 9', ce qui correspondrait à une perte de lumière moindre que un millième.

Je suis donc encore autorisé à dire que Bouguer s'est trompé.

V

SENSIBILITÉ DU POLARISCOPE

Une des premières applications que j'ai cru devoir faire de la loi du carré du cosinus a consisté à apprécier en nombres la sensibilité de mon polariscope. Lorsque l'instrument reçoit de la lumière complétement polarisée, les lunules sont teintes des plus vives couleurs. Lorsque cette lumière au contraire est neutre, on ne voit aucune trace de coloration. Il restait à déterminer quelle proportion de lumière polarisée mêlée à la lumière neutre donnerait une coloration appréciable. Voici comment cette évaluation a été obtenue :

Un faisceau de lumière polarisée par réflexion ayant été transmis à travers une lame de cristal de roche à peu près parallèle à l'axe, on fit tourner cette lame jusqu'à ce que le polariscope n'accusât aucune coloration. La section principale de la lame de cristal formait alors un angle de 45° avec le plan de réflexion. Cela fait, on fit tourner la lame, à droite et à gauche de cette position, d'abord jusqu'à ce que les lunules présentassent des traces de coloration qui n'auraient échappé à aucun regard ; ensuite, jusqu'à ce que ces colorations fussent manifestes pour un œil exercé.

Dans le premier cas, la lame, depuis l'excursion de gauche jusqu'à l'excursion de droite, s'était déplacée d'un degré. Un demi-degré était donc l'angle dont la lame devait tourner, à partir de l'azimut de 45°, pour donner naissance à une coloration très-marquée.

Or, la quantité de lumière polarisée contenue dans un faisceau transmis par une lame de cristal formant avec le plan de réflexion un angle i est, comme je l'ai montré dans mon premier Mémoire[1], cos $2i$. Dans le cas actuel, c'est cos 2 (44° 30′) ou cos 89°, ce qui correspond à $\frac{1}{57^e}$: en d'autres termes, $\frac{1}{57^e}$ de lumière polarisée dans un faisceau suffit pour donner aux lunules du polariscope une coloration très-sensible.

Ajoutons maintenant que cette coloration était appréciable lorsque l'excursion totale de la lame, à droite et à gauche de l'azimut 45°, était de 48′ : donc 24′ suffisent pour amener une coloration appréciable dans les lunules. Or, la quantité de lumière polarisée contenue dans un faisceau transmis par une lame de cristal formant avec le plan de réflexion un angle de 44° 36′ est exprimée par cos 2 (44° 36′) ou cos 89° 12′, ce qui correspond à $\frac{1}{71^e}$.

Ainsi, on se trompera peu en fixant au $\frac{1}{80^e}$ la quantité de lumière polarisée qu'un faisceau doit contenir pour donner aux lunules du polariscope une coloration appréciable pour un œil exercé.

Dans ces expériences, MM. Laugier, Petit et Ch. Mathieu sont arrivés au même résultat. Il peut donc être regardé comme une appréciation moyenne de la sensibilité de l'œil.

1. Voir précédemment p. 176.

QUATRIÈME

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE

CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL

LU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 29 AVRIL 1850[1]

De tous les problèmes posés et non résolus qui figurent dans le vaste domaine de l'astronomie physique, il n'en est pas qui intéresse plus directement les hommes que les problèmes relatifs à la constitution physique du Soleil. La solution de presque tous ces problèmes implique plus ou moins l'examen de cette question capitale : les bords et le centre du Soleil sont-ils également lumineux?

1. Mémoire inédit sur lequel les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* contiennent les indications suivantes :

« M. Arago s'est attaché dans ce Mémoire à montrer comment on peut comparer les intensités du centre et du bord du Soleil, en se servant d'une lunette prismatique de Rochon, devant l'objectif de laquelle est placé un prisme de Nicol, suivi d'une lame de cristal de roche à faces parallèles, d'environ 5 millimètres d'épaisseur et taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre. Cette lunette, comme on le sait, fait voir deux soleils teints des plus vives couleurs complémentaires. Il a montré ensuite comment il est possible, à l'aide de lois expérimentales relatives au rayonnement des flammes, de rendre compte très-simplement de l'existence des facules à la surface du Soleil et du pointillé que des observations exactes ont permis d'observer sur toute l'étendue de cet astre. »

Cette question de l'intensité comparative des divers points du disque solaire paraît avoir fixé d'une manière toute spéciale l'attention de Galilée. Je trouve en effet dans une lettre au prince Cesi, insérée dans le tome VI, page 198, de l'excellente édition publiée par M. Alberi, de Florence, le passage suivant destiné, à ce qu'il paraît, à lever un doute de Luca Valerio, de Naples, membre de l'Académie des Lincei.

« L'image du Soleil projetée sur un carton à l'aide de la lunette paraît également lumineuse dans tous ses points. Je crois le fait incontestable. »

Huygens croyait le Soleil liquide, et tirait cette conséquence de l'égale intensité de la lumière de cet astre sur tous les points du disque.

Bouguer paraît être le premier expérimentateur qui se soit prononcé sur la question. Après avoir dit que dans une lunette qui grossit beaucoup, l'image du Soleil paraît « comme une surface plate dont l'éclat est, pour ainsi dire, le même partout », il ajoute que ce jugement peut être une illusion provenant de ce qu'en comparant le bord au centre, l'œil passe successivement sur des parties dont l'intensité varie par degrés insensibles. Il explique alors, mais d'une manière très-imparfaite, comment il a paré à cet inconvénient en faisant usage de l'héliomètre, instrument dont l'invention lui appartient.

Je soupçonne que l'artifice employé pour cela par Bouguer consistait à isoler, par des écrans placés au foyer et convenablement découpés, deux parties d'égale étendue prises l'une sur le centre de la première image héliométrique, l'autre près du bord de la seconde. Il

constata ainsi, dans trois ou quatre épreuves faites à différents jours, que l'ouverture correspondant au centre d'une image était plus brillante que l'ouverture correspondant au bord de l'autre. En diminuant l'ouverture de l'objectif qui fournissait l'image du centre jusqu'à ce que cette image lui parût égale à l'autre, il arriva à cette proportion : l'intensité de la portion centrale du Soleil est à l'intensité d'une portion située aux trois quarts du rayon, à partir du centre, comme 48 est à 35. L'auteur avoue qu'il aurait dû répéter ces observations un plus grand nombre de fois; « mais, dit-il, il est toujours certain que le Soleil est moins lumineux dans les endroits de son disque qui sont plus éloignés du centre. »

Lambert a adopté, dans sa Photométrie, une opinion directement opposée à celle de Bouguer. Au commencement du chapitre II (n° 73), il dit en termes formels :

« La surface du Soleil nous présente partout le même éclat; il n'y a personne qui ne convienne de ce fait. »

MM. Airy et Herschel, au contraire, admettent avec Bouguer que le bord du Soleil est moins lumineux que le centre.

Voici ce que dit Herschel dans la deuxième édition de son *Traité d'astronomie* (n° 395, page 234) :

« Lorsqu'on regarde le disque entier du Soleil avec un télescope d'un grossissement assez modéré pour permettre cette observation, et à travers un verre noir qui laisse voir le disque tout à l'aise, il est tout à fait évident que les bords du disque sont beaucoup moins lumineux que le centre. On s'assure que ce n'est point là le résultat d'une illusion, en projetant l'image du Soleil sur une feuille de

papier blanc qu'on a le soin de placer bien exactement au foyer; alors on observe la même apparence. »

Il faut, dans les observations photométriques, se garantir avec soin des illusions; il est important, toutes les fois qu'on le peut, de substituer des mesures à de simples appréciations. Je ne citerai qu'un exemple des erreurs auxquelles on s'expose lorsqu'on procède autrement. La totalité de l'atmosphère est envahie par des nuages uniformes et gris, une couche de neige couvre la terre : il n'est personne qui, dans cette circonstance, hésite à déclarer que la neige est beaucoup plus brillante que le ciel; eh bien, si l'on substitue une mesure à un jugement vague, on trouve que le contraire est la vérité.

Ne pourrait-on pas dans le cas actuel appliquer directement le photomètre à la comparaison du bord et du centre de l'image solaire projetée sur l'écran de papier? En théorie, la chose paraît aisée; mais en réalité, l'exiguïté de l'image solaire, l'extrême rapprochement du bord et du centre de cette image, font naître de grandes difficultés. Je suis cependant parvenu à les tourner à l'aide d'un artifice fort simple, qui aurait dû se présenter plus tôt à mon esprit : il consiste à produire deux images du Soleil, aussi distantes qu'on le voudra, avec les deux moitiés de l'objectif unique qui compose l'héliomètre de Bouguer modifié par Dollond[1]. Je puis ainsi emprunter au centre d'une des images la lumière qui doit être réfléchie par la plaque centrale du photomètre, et au bord de l'autre image la lumière qui doit parvenir à l'œil par

1. Voir *Astronomie populaire*, t. II, p. 54.

transmission. En attendant que cette expérience puisse être exécutée, je vais présenter les conséquences auxquelles je suis arrivé en mettant à profit, dans cette vérification, la loi du carré du cosinus.

Laplace, dans la *Mécanique céleste*, a complétement admis les déterminations de Bouguer qui donnent, pour les intensités comparatives du centre et d'un point situé aux trois quarts du rayon, les nombres 48 et 35, d'où il résulte, entre les intensités du centre et du bord, une différence au moins égale à celle des nombres 48 et 30. C'est en partant de ces données que Laplace a calculé l'extinction de la lumière dans l'atmosphère solaire. Nous n'aurons pas de peine à prouver que ces longs et difficiles calculs reposent sur des faits d'expérience complétement erronés, et qu'ils doivent être recommencés sur de nouvelles bases.

Qu'on regarde le Soleil avec une lunette prismatique de Rochon[1], devant laquelle se trouve placé un parallélipipède de spath d'Islande improprement appelé prisme de Nicol, susceptible de tourner sur lui-même; un cercle gradué mesure la valeur de la rotation. Dans une certaine position de ce prisme, on ne verra qu'une image; dans les autres positions, on en verra deux, et leur intensité comparative dépendra de l'angle formé par la section principale du prisme rotatif avec la section principale du prisme de cristal de roche situé dans la lunette. Supposons que les deux images solaires soient superposées de manière que le bord de l'une vienne à passer sur le centre de l'autre.

1. Voir *Astronomie populaire*, t. II, p. 61.

Partons de la position où l'on ne voit qu'une image ; faisons tourner graduellement le prisme de Nicol jusqu'au moment où le bord de l'image naissante deviendra visible sur le bord de l'autre image; nous jugerons ainsi du degré de sensibilité de l'œil dans ce genre particulier d'expériences. Le bord de l'image faible commence à s'apercevoir sur le bord de l'image forte lorsque l'angle des sections principales du prisme de Nicol et du prisme intérieur est de 9°, c'est-à-dire, suivant la loi du carré du cosinus, lorsque le rapport des deux intensités est environ $\frac{1}{40}$.

Le bord de l'image naissante devrait aussi commencer à paraître sur le centre de l'autre image lorsque le rapport des intensités serait $\frac{1}{40}$. D'après l'évaluation de Bouguer et la loi du carré du cosinus, cette apparition aurait lieu lorsque les sections principales feraient entre elles un angle de 11° 18′, c'est-à-dire un angle supérieur de 2° 18′ à l'angle qui correspond à la première apparition de bord sur bord. Ce résultat est démenti par l'observation; le bord sur centre apparaît, à l'angle de 9°, comme le bord sur bord. Donc les nombres donnés par Bouguer et admis par Laplace doivent être rejetés.

Prenons une autre hypothèse: supposons que l'intensité du bord soit à l'intensité du centre comme 35 est à 48, il devrait y avoir entre la première apparition de bord sur bord et celle de bord sur centre une différence angulaire dans l'inclinaison mutuelle des sections principales égale à 1° 29′.

Nous le répétons, cette différence n'existe pas; des nombres moins dissemblables que ceux que Bouguer a

donnés et que Laplace a adoptés, pour le centre et le bord, ne peuvent se concilier avec l'observation.

En définitive, si l'on fait tourner lentement et par les plus petites quantités le prisme de Nicol, on ne parvient pas à saisir un angle auquel corresponde l'apparition de bord sur bord qui ne soit accompagnée simultanément de l'apparition naissante de bord sur centre.

Venons maintenant à un autre mode de comparaison entre les intensités du bord et du centre du Soleil.

Interposons entre le prisme de Nicol et l'objectif de la lunette prismatique une lame de cristal de roche taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre, et d'environ 5 millimètres d'épaisseur, une lame semblable à celle employée dans la construction de mon polariscope. Avec cet instrument ainsi modifié, on verra, dans toutes les positions relatives des deux prismes, deux soleils teints des plus vives couleurs complémentaires : l'un est rouge, par exemple; alors l'autre sera vert, et réciproquement. On n'obtient pas ainsi, bien entendu, les couleurs homogènes fournies par le prisme newtonien ; mais, d'autre part, on a l'avantage que les images ne sont pas déformées, que leurs contours sont aussi nets, aussi définis que si la lame de cristal de roche n'était pas interposée.

Ceci établi, supposons que l'image rouge se projette sur l'image verte, de manière qu'un bord de la première aille passer sur le centre de la seconde, et réciproquement. Puisque, par la nature même des choses, les couleurs sont complémentaires, la partie commune des deux images sera blanche si tous les points des deux disques sont éga-

lement lumineux. Si, au contraire, le bord est moins lumineux que le centre, le rouge du centre de l'image rouge prédominera sur le vert du bord de l'image verte, et le vert du centre de l'image verte prédominera sur le rouge du bord de l'image rouge ; en sorte que, en définitive, le fuseau commun aux deux disques sera rouge et vert à ses deux extrémités, blanc seulement dans le centre.

L'observation montre qu'il n'en est pas ainsi : la portion commune aux deux images circulaires paraît d'une blancheur uniforme dans toute son étendue.

Voyons quelle différence numérique d'intensité ce mode particulier d'observation pourrait nous faire découvrir. Admettons d'abord, pour un moment, l'exactitude des nombres déduits des expériences de Bouguer; 48 pour l'intensité du centre, et 30 pour l'intensité du bord. Le rouge provenant de 30 rayons blancs du bord du Soleil neutralisera le vert provenant de 30 rayons blancs du centre ; ce qui fera une intensité de blanc représentée par 30; mais à ces 30 de blanc se trouvera mêlé le vert provenant de la décomposition de 18 rayons blancs. D'autre part, sur le second bord de la portion commune, les rayons verts provenant des 30 rayons blancs du bord neutraliseront les rayons rouges provenant de 30 rayons blancs du centre ; mais il restera un excédant de rayons rouges provenant de la décomposition des 18 rayons blancs qui forment, par hypothèse, l'excédant de l'intensité du centre sur le bord.

Or, lorsque nous avons déterminé la sensibilité de l'œil pour les teintes du polariscope, nous avons reconnu (troisième Mémoire sur la photométrie, p. 230)

que $\frac{1}{80^e}$ de lumière polarisée dans un faisceau blanc, ou que les couleurs provenant de la décomposition de $\frac{1}{80^e}$ de lumière donnait aux lunules du polariscope des teintes appréciables. On peut soupçonner d'après cela combien auraient dû être sensibles, contrairement à l'observation, les teintes rouges et vertes provenant de la décomposition de 18 rayons sur 48. Les nombres de Bouguer et de Laplace sont donc tout à fait inadmissibles.

Le mode d'expérimentation que j'indique, en adoptant pour la sensibilité de l'œil les résultats polariscopiques, ferait ressortir une différence d'intensité entre le bord et le centre égale à $\frac{1}{40^e}$. En effet, supposez l'intensité du bord 40 et l'intensité du centre 41 ; on aurait 40 de lumière blanche par la superposition du bord et du centre des soleils rouge et vert, à quoi se mêlerait la lumière colorée provenant de la décomposition de 1 rayon sur 40 ou de $\frac{1}{40^e}$.

Il faut expliquer pourquoi, dans ce calcul, nous substituons la fraction $\frac{1}{40^e}$ à la fraction $\frac{1}{80^e}$ qui a été fournie par la graduation du polariscope. Lorsque nous cherchions à apprécier la sensibilité de cet instrument, nous avons opéré sur 80 de lumière neutre mêlée à 1 de lumière polarisée. La lumière neutre se partageait dans le polariscope en deux images blanches de même intensité représentées chacune par 40. A ces deux images venait se joindre, sur l'une le rouge provenant de 1 de lumière polarisée, et sur l'autre le vert provenant de la même origine. Ces rayons rouges et verts donnaient une teinte sensible à 40 de lumière blanche.

Passons à l'expérience faite avec la lunette fournissant

deux images colorées du Soleil, et supposons que la lumière du bord soit 40 et la lumière du centre 41, nous aurons 40 pour le blanc provenant de la superposition du centre de l'image rouge et du bord de l'image verte ; nous aurons également 40 de blanc pour la partie commune aux deux disques où se superposent le bord de l'image rouge et le centre de l'image verte. A ce blanc s'ajoute d'un côté le rouge, de l'autre le vert provenant de lá décomposition polariscopique de la quantité 1 de lumière blanche dont le centre l'emporte sur le bord. On voit donc qu'il faut ici réduire de moitié la sensibilité du polariscope, sensibilité qui tient à ce que les rayons neutres du faisceau total se partagent entre les deux images.

Je reconnais toutefois qu'avant d'adopter définitivement les résultats numériques que je viens d'indiquer, il sera nécessaire de s'assurer du degré de sensibilité des couleurs polariscopiques par une observation directe faite sur le Soleil même, l'extension à ce cas particulier des observations faites dans d'autres circonstances étant susceptible d'erreur.

Nous avons trouvé que la partie commune aux deux soleils rouge et vert paraît blanche dans toute son étendue ; tandis que, d'après les expériences de Bouguer, la partie avoisinant le disque rouge devrait paraître rouge, et la partie voisine du disque vert devrait paraître verte. Mais ne serait-il pas possible que cette faible coloration en rouge et en vert de la partie superposée aux deux disques parût blanche, par l'effet de son voisinage avec les portions contiguës des disques solaires qui se voient

séparément et sans affaiblissement de leurs colorations?

J'ai fait résoudre cette difficulté en plaçant au foyer de la lunette un diaphragme métallique qui couvrait la totalité des deux disques superposés, sauf deux ouvertures dont l'une correspondait au bord de l'image verte se projetant sur le centre de l'image rouge, l'autre au bord de l'image rouge se projetant sur le centre de l'image verte. L'expérience ainsi perfectionnée n'a laissé apercevoir, m'assure M. Laugier, aucune trace de couleurs.

Le Soleil présente, comme on sait, dans quelques parties de sa surface, des portions notablement plus lumineuses que le reste et qu'on a appelées des *facules*.

L'explication de ce phénomène me semble pouvoir se rattacher aux lois de la photométrie, à celles du rayonnement des substances gazeuses.

Il résulte, comme nous l'avons déjà dit, d'expériences certaines et très-faciles à répéter, qu'une surface gazeuse et incandescente d'une étendue donnée éclaire également, quel que soit l'angle sous lequel elle se présente aux objets.

Une conséquence de ce fait, et qui étonne beaucoup les marchands, c'est que les flammes dites *à papillons* éclairent également les marchandises exposées dans ce qu'ils appellent leurs *montres*, quand elles se présentent à ces marchandises par leur large surface ou par leur tranche. Cette égalité d'éclairement ne peut évidemment avoir lieu qu'en admettant, d'une part, que la surface antérieure et lumineuse du papillon n'absorbe aucun des rayons qui la traversent après être partis d'autres points de la flamme, de l'autre que l'intensité lumineuse de la

portion variable de flamme comprise sous un angle déterminé varie proportionnellement au cosinus de l'inclinaison. Si l'on regarde donc par une ouverture sous-tendant, par exemple, un angle de 1′, une flamme étendue, l'ouverture paraîtra beaucoup plus lumineuse lorsque la surface de la flamme se présentera à elle dans une direction oblique que dans la direction perpendiculaire. Ce qui n'empêche pas, nous croyons nécessaire de le répéter, que la flamme considérée dans son ensemble n'éclaire également les objets sous toutes les inclinaisons.

Supposons que la partie visible du Soleil soit gazeuse, on expliquera tout naturellement les facules par les inclinaisons diverses sous lesquelles les différentes parties de la surface de l'astre se présenteront à nos yeux. En effet, nous venons de voir qu'une surface gazeuse incandescente et d'une étendue déterminée, est plus lumineuse si on la voit obliquement que sous l'incidence perpendiculaire. Par conséquent, si la surface solaire offre des ondulations, comme notre atmosphère lorsqu'elle se couvre de nuages pommelés, elle doit paraître comparativement faible dans les parties de ces ondulations qui se présentent perpendiculairement à l'observateur, et plus brillante dans les parties inclinées; toute cavité conique doit nous sembler une boule. Il n'est donc plus nécessaire, pour rendre compte des apparences, de supposer qu'il existe sur le Soleil des milliers de foyers plus incandescents que le reste du disque, ou des milliers de points se distinguant des régions voisines par une plus grande accumulation de la matière lumineuse.

On peut évidemment rendre compte de la même manière

du pointillé que des observations exactes ont signalé dans toutes les parties du disque solaire.

Tous les phénomènes que présente l'observation de la surface du Soleil s'expliquent parfaitement : 1° lorsqu'on imagine que cet astre est formé d'un noyau obscur, entouré à une certaine distance d'une atmosphère quelque peu opaque et réfléchissante, comparable à l'atmosphère terrestre lorsque celle-ci est le siége d'une couche continue de nuages opaques et réfléchissants; 2° lorsqu'on place, au-dessus de cette première couche, une seconde atmosphère lumineuse, une photosphère qui détermine par son contour les limites visibles de l'astre; 3° lorsqu'on admet une troisième atmosphère diaphane, rendue manifeste par les couronnes lumineuses et les protubérances détachées de la surface solaire qu'on aperçoit pendant les éclipses totales de l'astre radieux.

La possibilité de l'existence de cette troisième atmosphère a été dédaigneusement rejetée par un membre de l'Académie, d'après des motifs qui ne me paraissent avoir aucune valeur. L'académicien en question parle de comètes qui ont passé librement dans la région circumsolaire où les protubérances apparaissent pendant les éclipses.

MM. Laugier et Mauvais ont en effet déduit de leurs calculs que la comète de 1843 avait presque rasé[1] la surface solaire, mais ces deux savants étaient trop bons logiciens pour avoir prétendu tirer des observations faites après ce passage, aucune conséquence sur les modifica-

1. *Astronomie populaire*, t. II, p. 325.

tions que l'influence d'une atmosphère aurait pu antérieurement faire éprouver à la comète.

Ces conséquences eussent été légitimes alors seulement que la comète aurait été vue avant et après le passage près du Soleil et que ces deux portions de l'orbite n'auraient pas appartenu à une seule et même courbe.

Je ne sais où l'astronome dont je signale ici l'opinion hasardée a trouvé qu'il fallait admettre cinq à six enveloppes au noyau central du Soleil, pour expliquer le phénomène des protubérances dont je me suis occupé dans *l'Astronomie populaire*[1] et dans ma *Notice sur les éclipses*[2]. Les partisans de ces explications ont admis trois enveloppes, ni plus ni moins.

Je remarquerai en outre, quoi qu'en dise le même académicien, que les idées d'Herschel sur les taches du Soleil n'ont nullement servi de base à la théorie des protubérances, fondée sur l'existence d'une troisième atmosphère. Lorsqu'un auteur veut combattre des explications données par des hommes sérieux, il devrait, ce me semble, s'abstenir d'y mêler d'avance des erreurs de sa façon.

Lorsqu'on cherche à déterminer, par la théorie, les propriétés absorbantes de l'atmosphère du Soleil, on est obligé de faire une hypothèse sur le mode de rayonnement qui appartient à la matière incandescente de cet astre. Si cette matière est solide ou liquide, elle doit paraître également lumineuse sous toutes les inclinaisons, également lumineuse au bord et au centre; en effet, la

1. T. III, p. 591 à 613.

2. Voir t. VII des *Œuvres*, t. IV des *Notices scientifiques*, p. 264 à 291.

quantité de rayons lumineux qui émanent des corps solides ou liquides diminue, il est vrai, avec l'obliquité, mais précisément comme augmente le nombre de points lumineux contenus sous un angle déterminé. Si l'enveloppe lumineuse du Soleil est un gaz, au contraire, la quantité de rayons émis dans toutes les directions est exactement la même, comme je l'ai dit plus haut, et les calculs sur l'extinction de l'atmosphère absorbante doivent être fondés sur cette égalité de rayonnement.

Il est donc important de découvrir si la portion incandescente et visible du Soleil est une matière solide ou liquide, ou bien une matière gazeuse. C'est à quoi je suis parvenu par l'enchaînement d'expériences et de raisonnements dont je vais donner la substance.

En dirigeant le polariscope vers des corps terrestres incandescents, solides ou liquides, et dans des directions formant avec leurs surfaces de très-petits angles, je voyais invariablement les lunules colorées : l'ordre des couleurs prouvait que dans tous les cas la lumière était polarisée par réfraction. En dirigeant, au contraire, le polariscope sur une surface gazeuse enflammée, les lunules n'offraient aucune trace de coloration; la lumière, dans ce cas, n'était donc pas polarisée.

J'ai expliqué ce phénomène en supposant que la lumière qui nous fait voir les corps incandescents prend naissance, en grande partie, dans leur intérieur, et que cette portion de lumière se polarise par réfraction en passant du milieu dans l'air. On conçoit alors pourquoi les gaz ne polarisent pas, la lumière qui en sort ne se réfractant pas d'une manière sensible. Mais quand même

cette explication n'aurait aucun fondement, le parti que j'ai tiré de l'expérience pour déterminer la constitution physique du Soleil n'en serait pas moins légitime.

Ma méthode expérimentale a consisté, en effet, à rechercher si je verrais des couleurs sensibles en appliquant la lunette polariscopique à l'observation de l'extrême bord du Soleil. Dans aucune de mes expériences, je n'avais réussi à découvrir des couleurs, comme j'en apercevais, ainsi qu'on l'a vu précédemment, en faisant la même observation sur des corps solides ou liquides. La partie visible du Soleil est donc une matière gazeuse incandescente.

J'avoue que cette expérience péchait par un point essentiel : en la faisant d'abord, je m'étais servi de lunettes grossissant faiblement, ce qui réduisait à une valeur angulaire presque insensible la portion du Soleil vue très-obliquement, celle où j'aurais dû voir des couleurs. Mais j'ai fait répéter l'expérience avec un pouvoir amplificatif plus grand, qui aurait permis d'apercevoir les couleurs correspondant à la portion de surface solaire qui est vue sous des angles inférieurs à 3 et 4 degrés. En effet, les portions du Soleil vues sous les angles de 3° et 4° sous-tendent respectivement, sur le diamètre, des valeurs angulaires de 1″.31 et 2″.36.

Voici, au surplus, la table plus développée des angles sous lesquels les portions du Soleil voisines du bord se présentent à un observateur placé sur la Terre :

Au bord du Soleil	1°	sous-tend	0''.13	0''.44
—	2	—	0 .57	0 .74
—	3	—	1 .31	1 .05
—	4	—	2 .36	1 .29
—	5	—	3 .65	1 .64
—	6	—	5 .29	1 .88
—	7	—	7 .17	2 .21
—	8	—	9 .38	2 .48
—	9	—	11 .86	2 .79
—	10	—	14 .65	

L'étude comparative des propriétés photogéniques des rayons lumineux partant du bord et des rayons lumineux du centre du Soleil, conduira aussi à résoudre quelques uns des problèmes dont je me suis occupé dans ce Mémoire. Dès les premiers temps de la publication de la brillante découverte de M. Daguerre, j'ai reconnu, en recevant l'image solaire sur une plaque d'argent, que les rayons qui proviennent de la partie centrale du disque du Soleil ont une plus forte action photogénique que ceux qui partent des bords. Cette expérience a été répétée plus tard par MM. Fizeau et Foucault, qui ont pris, en 1844 et 1845, un grand nombre d'images photographiques du Soleil. J'en ai fait reproduire une dans mon *Astronomie populaire* [1].

En considérant celles de ces images qui étaient peu intenses, c'est-à-dire pour lesquelles l'action de la lumière n'avait duré qu'un temps très-court et peu supérieur à celui qui est nécessaire pour que l'image prenne naissance, on remarque que les bords et le centre pré-

1. T. II, p. 176.

sentaient des différences notables sous le rapport de l'intensité.

Dans celles de ces images qui sont les plus marquées, la partie centrale se voit mieux que le reste du disque, les bords présentent une teinte plus faible, et du centre aux bords il existe une dégradation qui s'aperçoit principalement dans le voisinage des bords.

Dans les images plus faibles, les bords du disque ne sont plus visibles et le diamètre de l'image est sensiblement diminué. Enfin, dans celles qui sont extrêmement faibles, on ne voit plus que la partie centrale et le diamètre de l'image est réduit aux trois quarts.

Ces résultats ont été obtenus avec des images de deux diamètres différents, produites au moyen de lentilles achromatiques. Le diamètre le plus grand était de $91^{mill}.5$, l'objectif qui donnait cette image avait une distance focale de $9^{m}.88$. Le diamètre le plus petit était de $12^{mill}.8$, la distance focale de l'objectif étant $1^{m}.38$.

Les images avaient une netteté assez grande pour que les taches du Soleil y fussent bien visibles, le noyau et la pénombre étaient même assez distincts; plusieurs de ces taches avaient un diamètre qui n'était que $\frac{1}{200^e}$ de celui de l'image solaire. Ainsi il ne paraît pas possible d'attribuer le décroissement de l'intensité à un défaut de netteté des images.

MM. Fizeau et Foucault ont cherché si la manière dont s'exerce l'action chimique sur une surface d'une étendue semblable à celle des images obtenues ne présenterait pas quelque particularité qui pourrait expliquer le phénomène.

Pour cela, on a placé à une grande distance un disque de carton blanc derrière lequel était tendue une étoffe noire, et au moyen d'un objectif convenable, on a formé une image de ce disque de la même dimension que la petite image solaire, c'est-à-dire $12^{\text{mill}}.8$. Le disque était éclairé par la lumière de l'atmosphère, et par conséquent d'une manière uniforme sur toute sa surface.

Or, les épreuves qu'on a obtenues de cette manière sur les plaques sensibles ne présentent aucun décroissement d'intensité du centre à la circonférence; il y a plutôt un léger accroissement au bord même, et comme un cercle plus marqué qui termine l'image.

Un autre essai a été fait d'une manière différente. Un écran opaque a été percé d'une ouverture ronde, d'un diamètre égal à celui de la grande image solaire, c'est-à-dire $91^{\text{mill}}.5$. Cet écran a été placé sur une plaque sensible, très-près de la surface. Dans cet état, on a exposé la plaque à la lumière de l'atmosphère pendant un temps convenable pour obtenir une image très-faible. Le résultat a été le même que le précédent, c'est-à-dire que l'image était d'une intensité uniforme et terminée par une ligne un peu plus intense.

Le décroissement observé dans les images solaires doit donc être attribué à une différence de propriétés entre les rayons venant des différents points du Soleil. L'intensité de l'action chimique est la plus grande pour les rayons venant du centre, elle est notablement plus faible pour les rayons venant des bords et décroît d'une manière continue pour les rayons intermédiaires.

Les faisceaux lumineux donnent, comme on sait, des

spectres prismatiques qui présentent des solutions de continuité transversales, des raies entièrement noires. Pour compléter l'étude qui vient d'être exposée, il y aura lieu de rechercher si les rayons qui partent du bord et du centre du disque solaire fournissent des spectres dont les raies se correspondent exactement. Il restera enfin à comparer leurs propriétés calorifiques.

CINQUIÈME

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE

LU A L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 20 MAI 1850 [1]

I

INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE ATMOSPHÉRIQUE DANS LE VOISINAGE DU SOLEIL

La détermination de l'intensité de la lumière atmosphérique dans le voisinage du Soleil n'a pas, je crois, été tentée jusqu'ici. Cependant elle se rattache à des questions d'astronomie très-importantes. Des observateurs privilégiés prétendent avoir vu Mercure et Vénus en même temps que le Soleil dans le champ d'une lunette. La réalité de ces observations a été contestée sur de vagues aperçus; on ne reconnaîtra ce qu'il est possible

1. Mémoire inédit sur lequel les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* contiennent les indications suivantes :

« Un chapitre de ce Mémoire est consacré à la détermination des intensités comparatives de la lumière du Soleil et de la lumière réfléchie par les portions d'atmosphère situées dans la direction du limbe de l'astre. Dans un autre chapitre, l'auteur a traité de l'influence qu'un mouvement modéré exerce sur la visibilité d'une lumière faible se projetant sur un fond fortement lumineux. Il a combattu les objections que l'illustre M. Bessel a faites contre cette expérience et contre le parti qu'on en avait tiré pour expliquer, à certains égards, la visibilité des étoiles en plein jour. »

de faire à cet égard, ce qu'on peut tenter avec quelques chances de succès, qu'alors qu'on aura, avec une certaine exactitude, des observations comparatives de l'intensité de la lumière de ces planètes et de celle de l'atmosphère à travers laquelle on doit les observer.

J'ai donc cru faire une chose utile, en essayant de déterminer avec une certaine précision l'intensité de la lumière atmosphérique dans le voisinage du Soleil, c'est-à-dire l'éclat que l'atmosphère répandrait sur la Terre, dans un lieu donné si l'on parvenait à y anéantir l'éclat direct du Soleil. C'est par une application immédiate de la loi du carré du cosinus que je suis arrivé au résultat.

Prenons une petite lunette prismatique de Rochon, plaçons devant l'objectif ce qu'on est convenu d'appeler un prisme de Nicol. La lumière qui traverse ce dernier prisme étant complétement polarisée, on ne verra qu'une image du Soleil dans une position particulière de sa section principale et de celle du prisme biréfringent situé dans la lunette. En s'éloignant de cette position particulière, par un mouvement graduel de rotation du prisme de Nicol, la seconde image de l'astre prendra naissance et se projettera, si l'on veut, sur la région atmosphérique en contact avec l'image solaire principale. L'intensité de cette image secondaire se calculera, pour chaque déviation angulaire, d'après la loi du carré du cosinus.

Soient R l'intensité de la lumière du Soleil, x l'intensité de la lumière atmosphérique dans le voisinage de l'astre radieux, i l'angle formé par les sections principales du prisme de Nicol et du prisme intérieur lorsque l'image extraordinaire projetée sur l'atmosphère dispa-

raît. D'après la loi du carré du cosinus, $R\cos^2 i$ sera l'intensité que conserve l'image ordinaire, et $R\sin^2 i$ sera l'intensité de la seconde image. On sait, par une expérience préalable, que lorsque les deux images d'un disque lumineux empiètent l'une sur l'autre de telle sorte que le bord de l'une se projette sur le centre de l'autre, l'azimut qui amène la disparition de la portion de l'image faible qui se projette sur l'image forte est 9° 20′ et que par conséquent le rapport des intensités des deux images est

$$\frac{F \sin^2 9^\circ 20'}{F \cos^2 9^\circ 20'} = \operatorname{tang}^2 9^\circ 20' = \frac{1}{37}.$$

L'expérience avec la lunette de Rochon munie du prisme de Nicol étant faite de telle façon que l'image forte ou ordinaire du Soleil soit rejetée en dehors du champ de l'instrument, on trouvera l'azimut i pour lequel la seconde image, représentée par $R\sin^2 i$, disparaît quand elle se projette sur la portion d'atmosphère qui touche le Soleil ; mais alors la lumière de cette portion n'est plus égale à x, son intensité primitive, mais à $x\cos^2 i$, et, d'un autre côté, en vertu de l'expérience préalable que nous venons de rapporter, l'image qui disparaît sur un fond lumineux en est $\frac{1}{37^e}$. Nous aurons donc :

$$R\sin^2 i = \frac{1}{37}\, x\cos^2 i,$$

par conséquent,

$$\frac{x}{R} = 37 \operatorname{tang}^2 i.$$

L'expérience donne pour l'azimut de disparition de la

seconde image du Soleil sur le fond du ciel, $i = 0°\ 25'$; donc on a

$$\frac{\varpi}{R} = 37 \operatorname{tang}^2 25' = \frac{37}{18910} = \frac{1}{511},$$

c'est-à-dire que le fond du ciel dans une direction tangentielle au Soleil a un éclat qui est $\frac{1}{511^e}$ ou, en nombre rond, $\frac{1}{500^e}$ de l'éclat solaire lui-même.

Cette intensité reste à peu près constante dans une étendue angulaire égale au diamètre du Soleil, comptée à partir du bord.

Les expériences précédentes ont été faites avec un verre noir qui laissait voir le Soleil d'un très-beau blanc assez vif.

Pour exposer les principes de la méthode, indépendamment des petits calculs que nous venons d'indiquer, nous dirons : On sait, d'après la loi du carré du cosinus, comment naît la seconde image et s'accroît son intensité; on sait, de plus, quel rapport doit exister entre l'intensité de cette seconde image et celle de la région du ciel sur laquelle elle se projette pour qu'elle disparaisse. Supposons que cette proportion soit $\frac{1}{37^e}$, on aura donc la seconde image calculée par la loi du carré du cosinus égale à $\frac{1}{37^e}$ de la lumière atmosphérique; par conséquent, cette lumière atmosphérique est 37 fois plus grande que l'intensité déjà connue de la seconde image.

A la rigueur, il faudrait tenir compte de l'affaiblissement que la lumière atmosphérique a éprouvé en même temps que l'image principale; mais cette correction est tout à fait négligeable.

On pourrait songer à répéter ces observations avec une lunette héliométrique, à affaiblir l'intensité de l'image qui se projette sur l'atmosphère en réduisant la surface d'une des moitiés de l'objectif coupé; mais peut-être l'exiguïté du secteur qui resterait à nu engendrerait-elle des phénomènes de diffraction, et par suite, des complications dans les résultats.

II

UN MOUVEMENT MODÉRÉ REND LA VISIBILITÉ DES OBJETS PLUS FACILE

Bouguer a déterminé dans son *Optique* « quelle force doit avoir une lumière pour qu'elle en fasse disparaître une autre plus faible. » Il arrivait à la solution de ce problème, en plaçant deux bougies également lumineuses, à des distances différentes d'une feuille de papier; une tige mince et opaque y projetait dès lors deux ombres d'une teinte grise plus ou moins intense; il éloignait l'une des bougies jusqu'au moment où l'ombre qu'elle formait disparaissait complétement. Ne nous occupons que des points du papier qui environnent cette ombre : nous établirons facilement qu'au moment de sa disparition la lumière répandue sur la feuille de papier par la bougie la plus éloignée s'évanouissait, cessait d'être sensible en s'ajoutant à la lumière répandue sur cette même feuille par la bougie la plus rapprochée. Appelons en effet a l'intensité de la lumière lancée sur la feuille par cette dernière bougie, b cette même intensité pour la seconde, pour la bougie la plus éloignée : $a + b$ est l'in-

tensité de la lumière sur toutes les parties de la feuille avoisinant l'ombre correspondante à la bougie *b*, excepté dans les points mêmes de cette ombre géométrique. Dans ces points l'intensité est *a*, à côté l'intensité est $a + b$: or, par hypothèse, *a* et $a + b$ ne paraissent pas différer; on a donc déterminé par cette expérience quelle doit être l'intensité *b* pour qu'ajoutée à *a* elle ne produise pas un effet sensible.

Bouguer s'est assuré que le rapport des distances des bougies à la feuille de papier, lorsque l'ombre correspondant à la plus éloignée disparaissait, était celui de 1 à 8 ; ce qui donne, en prenant le carré de ces nombres, pour le rapport des intensités : 1 à 64 ; ainsi l'addition de $\frac{1}{64^e}$ de lumière cessait d'être sensible.

L'auteur observe avec raison que ce résultat numérique doit varier un peu suivant la conformation des yeux, leur degré de fatigue, la sensibilité des rétines ; mais, chose extraordinaire, il n'a pas remarqué que la mobilité du corps opaque devant la feuille de papier, que la mobilité de la région où la différence d'intensité existe, change entièrement les résultats.

Mes propres expériences m'ont démontré positivement que si $\frac{1}{64^e}$ de lumière devient insensible dans le cas de l'immobilité, une fraction beaucoup plus petite que celle-là sera perceptible lorsque la différence d'intensité se manifestera successivement sur divers points de la feuille.

Ce résultat ayant été contesté par des hommes d'un mérite supérieur, je vais citer l'observation vulgaire qui, depuis longues années, m'en a montré la réalité.

Je me promenais au milieu de la journée, en marchant

du nord au midi, sur la terrasse méridionale de l'Observatoire. Toute la partie des dalles au midi de mon corps était donc éclairée en plein par la lumière directe du Soleil; mais les rayons de l'astre étaient réfléchis par les carreaux de vitre des fenêtres de l'établissement placées derrière moi; il y avait donc là une image secondaire, une sorte de soleil artificiel situé au nord, dont les rayons venant à ma rencontre, devaient former une ombre dirigée du nord au midi. Cette ombre était naturellement très-faible; en effet, elle était éclairée par la lumière directe du Soleil. Son existence ne pouvait donc être constatée que par la comparaison de cette lumière directe et de la lumière située à côté, composée de cette même lumière directe et des rayons très-affaiblis réfléchis par les carreaux. Or, le corps restait-il immobile, on ne voyait aucune trace de l'ombre; faisait-on un geste avec les bras, un mouvement brusque du corps donnait-il lieu à un déplacement sensible de l'ombre, aussitôt on apercevait l'image des bras ou du corps.

On peut faire l'expérience, à la manière de Bouguer, avec deux bougies projetant les deux ombres d'un corps sur une feuille de papier. On est étonné alors de l'excès de sensibilité que le mouvement de l'ombre ajoute à celle dont l'œil semble naturellement doué.

Le procédé suivant que j'ai imaginé a l'avantage sur les méthodes précédentes de se prêter à des mesures et de résoudre par conséquent le problème d'une manière complète. On place un prisme de Nicol devant l'objectif d'une lunette prismatique de Rochon; on vise avec cet instrument à une ouverture découpée dans un carton

noir et se projetant sur l'atmosphère couverte; on s'assure que les deux images de l'ouverture se projettent l'une sur l'autre, de manière, par exemple, que le bord de la seconde image passe par le centre de la première; on cherche quelle est la position des deux sections principales du prisme de Nicol et du prisme intérieur de la lunette qui amène la disparition complète de la seconde image sur la première.

Cela posé, on imprime au prisme intérieur un mouvement graduel et rectiligne dirigé de l'oculaire vers l'objectif; on arrête le mouvement lorsque les deux images sont tangentes, et l'on évalue le temps que ce mouvement a duré; on a ainsi, le demi-diamètre de l'image étant donné, la vitesse du déplacement de l'image par chaque fraction de seconde. Telles sont les dispositions de l'expérience que j'ai imaginée; voici les résultats, à très-peu près concordants, obtenus par M. Laugier, par M. Goujon et par M. Charles Mathieu.

Une première série d'expériences a donné les résultats suivants :

Dans l'état d'immobilité, la seconde image disparaissait sur l'image principale lorsque son intensité était $\frac{1}{39^e}$ de celle-ci. Dans l'état du mouvement, la disparition n'avait lieu que lorsque l'intensité de la seconde image était $\frac{1}{58^e}$. En d'autres termes, l'azimut de disparition était de 9° 5′ à l'état de repos et de 7° 30′ pendant le mouvement.

Dans une seconde série d'expériences, l'intensité correspondante à la disparition était, dans l'état de repos, $\frac{1}{51^e}$; elle est devenue $\frac{1}{87^e}$ dans l'état de mouvement. Les

azimuts de disparition étaient de 8° 0′ pour le repos, et de 6° 7′ pour le mouvement.

Enfin, dans une troisième série, la disparition, pour l'état de repos, correspondait à $\frac{1}{71^e}$, et lorsque la faible image se mouvait sur l'autre la disparition avait lieu seulement lorsque cette faible image n'était que $\frac{1}{131^e}$. L'azimut de disparition était pour le repos de 6° 45′ et il devenait 5° 0′ pour le mouvement.

Le mouvement imprimé au prisme intérieur lui faisait parcourir les deux tiers de la longueur de la lunette en une à deux secondes de temps : le déplacement angulaire correspondant de l'image faible sur l'image forte, dans le même intervalle de temps, était de 19′, le disque tout entier sous-tendant un angle de 27′. Dans les déplacements de la seconde image sur la première, la vitesse était donc de 12′ par seconde.

Je ne chercherai pas ici à expliquer comment la sensibilité de l'œil correspondant à l'état de repos a été si différente dans ces trois séries d'expériences. C'est là un phénomène physiologique sur lequel il y aura à revenir.

Ajoutons, comme renseignement propre à faire juger de l'obscurité du champ, que l'image faible, lorsqu'elle se projetait en dehors de l'image forte, a disparu quand son intensité était de $\frac{1}{2,100}$.

M. Bessel n'admettait pas le résultat que toutes ces expériences démontrent d'une manière certaine; il niait surtout la part que je lui ai attribuée sur la visibilité des étoiles en plein jour avec des lunettes d'un grand pouvoir amplificatif. Il objectait que les images de ces astres se

voient parfaitement dans une lunette mue parallatiquement par une horloge, c'est-à-dire lorsque ces images restent fixes dans le champ de la vision.

Je réponds que la mobilité de l'image d'une étoile n'est pas la seule cause de sa visibilité, que l'oculaire, en obscurcissant le champ de la vision, sans altérer la clarté de l'astre, accroît de plus en plus la prédominance de l'image sur la lumière atmosphérique du champ; qu'enfin un fait complexe ne saurait être opposé à une expérience simple, manifeste, et d'ailleurs si facile à vérifier.

SIXIÈME

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE[1]

I

CONSTITUTION PHYSIQUE ET PHOTOMÉTRIE DES ÉTOILES

On a vu, dans mon quatrième Mémoire sur la photométrie[2], que j'ai réussi, à l'aide de la lunette polariscopique, à déterminer la nature de la substance dont la photosphère solaire se compose, à prouver que cette matière est gazeuse. Le moyen d'observation que j'ai employé pour le Soleil en me servant de lunettes à fort grossissement qui permettaient d'observer des portions sensibles du disque solaire, vues sous des angles très-obliques, m'a mis en mesure de résoudre cette question qui semblait inabordable : la constitution physique des étoiles, c'est-à-dire d'astres qui n'ont pas sensiblement de diamètre apparent, est-elle analogue à la constitution physique de notre Soleil?

S'il a été possible d'attaquer expérimentalement cette question quand il s'agissait du Soleil, c'est que, à cause de la grandeur de son diamètre apparent, on pouvait

1. Mémoire inédit.
2. Pages 241 à 247.

opérer séparément sur les rayons émis par chaque point du bord. Réunissons, au contraire, par la pensée, dans un faisceau unique les rayons partant de tout le contour de l'astre, et ces rayons, quoiqu'ils puissent être polarisés, comme émanant d'un corps solide ou liquide, formeront, par compensation, un faisceau neutre. Ainsi, les rayons provenant de l'extrémité orientale du diamètre horizontal de l'astre seront neutralisés par les rayons venant de l'extrémité septentrionale du diamètre vertical, et les rayons venant de l'extrémité ouest du diamètre horizontal seront neutralisés par les rayons venant de l'extrémité sud du diamètre vertical; et ainsi de même pour les autres points du disque situés dans des positions rectangulaires.

Cette conception se trouve réalisée dans les étoiles dont le diamètre est insensible. Leur lumière, dans son ensemble, devra sembler neutre quoique les rayons puissent isolément être polarisés.

Mais la chose est différente quand il s'agit d'étoiles changeantes.

En effet, considérons une de ces étoiles qui, après avoir brillé d'un certain éclat, disparaissent presque complétement. Ce changement d'éclat ne peut être expliqué que de trois manières : ou une portion considérable du disque de l'étoile est obscure; ou un corps opaque vient s'interposer entre l'astre et nous; ou bien enfin l'étoile extrêmement aplatie a, comme disait Maupertuis, la forme d'une meule.

Dans ce troisième cas, au moment où l'étoile se présenterait par la tranche, les rayons émis formeraient, avec la surface, de très-petits angles, et si cette surface était

solide ou liquide les phénomènes de polarisation seraient très-apparents. Si la surface était gazeuse, il n'y aurait pas de polarisation, mais il est vrai de dire que, dans cette hypothèse, l'intensité de l'astre resterait la même qu'il se présentât par la tranche ou par la face.

Dans la seconde supposition, lorsque l'interposition du corps opaque nous cachera, par exemple, la partie occidentale du disque, en laissant visibles les portions extrêmes du diamètre vertical, la polarisation de la lumière émanant de ces portions extrêmes ne sera pas, mathématiquement parlant, compensée par la polarisation rectangulaire de la lumière provenant de l'extrémité orientale du diamètre. Si l'œil, sous ce rapport, pouvait saisir les plus petites différences, on devrait voir des traces de polarisation dans le faisceau total. Ces traces seront surtout apparentes lorsque la portion visible de l'étoile se réduira à une très-petite partie de son contour située à l'orient et à l'occident.

Le même raisonnement s'applique de point en point au cas où la variation de la lumière de l'astre provient de l'obscurité d'une portion considérable de sa surface.

L'observation sous ce point de vue de la lumière des étoiles variables, au moment de leur apparition et de leur disparition, est donc très-digne de l'intérêt des astronomes; et l'on voit comment, par un enchaînement nécessaire, une simple expérience de cabinet se rattache à l'un des problèmes les plus élevés de la philosophie naturelle et permet de le résoudre.

Or l'observation attentive de plusieurs étoiles changeantes faite avec la lunette polariscopique dans toutes

les parties de leurs phases, a démontré que leur lumière reste constamment d'une blancheur parfaite. On peut donc assurer que cette lumière émane d'une substance analogue à nos nuages ou à nos gaz enflammés.

Ce même moyen d'investigation réussit lors même qu'on l'applique aux étoiles qui n'offrent qu'une variation partielle dans leur éclat.

On voit qu'il résulte de ces recherches, qui devront être continuées, la confirmation complète de l'hypothèse de l'identité de notre Soleil avec les innombrables étoiles qui peuplent le firmament. Mais quel est le rapport d'intensité que présente la lumière de toutes ces étoiles? J'ai rapporté dans mon *Astronomie populaire*[1] les diverses tentatives qui ont été faites avant moi par William Herschel, Kœhler, Steinhel, Seidel, pour déterminer les intensités comparatives des étoiles de différentes grandeurs. J'ai montré quelles objections on pouvait faire aux divers procédés proposés ou employés pour résoudre le problème.

Avant de démontrer expérimentalement la loi du carré du cosinus, j'avais fait construire un appareil dans lequel en opérant sur l'image polarisée d'une étoile, j'atténuais son intensité par degrés qui devaient être exactement calculables. Cet appareil n'était autre que celui que j'ai déjà décrit et qui consiste dans une lunette de Rochon ayant devant l'objectif un prisme rotatif de Nicol [2].

Depuis que la loi du carré du cosinus a été démontrée

1. T. I, p. 354 à 361.

2. Voir précédemment p. 235.

expérimentalement, ma vue s'étant très-affaiblie, j'ai prié M. Laugier de soumettre mon appareil à une expérience décisive. Je vais présenter les résultats qu'il a obtenus. Les angles que renferme le tableau suivant sont les azimuts à partir desquels la seconde image de chaque étoile commence à paraître, le point de départ étant celui du plan de polarisation primitif de l'étoile.

Représentons par a l'intensité de la lumière d'une étoile, par i l'angle du plan primitif de polarisation avec celui du prisme qui sert à donner la seconde image : $a \sin^2 i$ est l'intensité de cette seconde image. Soit b l'intensité de la lumière d'une seconde étoile, i' l'angle du plan primitif de polarisation avec celui du prisme, pour la seconde image, son intensité sera représentée par $b \sin^2 i'$; par hypothèse $a \sin^2 i$ est égal à $b \sin^2 i'$; par conséquent on a :

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}.$$

Si l'on veut, on pourra faire d'avance une échelle comparative d'intensités en comparant pour la plus brillante des étoiles l'azimut i de disparition, et en répétant l'expérience à l'aide de la même lunette ayant devant son objectif un verre à faces parallèles qui réduise l'image focale au quart, à la moitié, aux trois quarts, etc., de la lumière primitive.

En cherchant sous quel azimut la seconde image de chaque étoile projetée sur le fond du ciel commençait à paraître, on a obtenu les azimuts suivants :

Noms des étoiles.	Grandeurs convenues des étoiles.	Azimuts d'apparition.	Sinus carrés des azimuts d'apparition.	Intensités relatives ou $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius ou α du Grand Chien.	1	0° 48′	$\frac{1}{5129}$	1000
Wéga ou α de la Lyre.......	1	0 58	$\frac{1}{3512}$	684
Procyon ou α du Petit Chien.	1-2	1 10	$\frac{1}{2411}$	470
Rigel ou β d'Orion..........	1	1 12	$\frac{1}{2279}$	444
Bételgeuse ou α d'Orion....	var.	1 12	$\frac{1}{2279}$	444
Ataïr ou α de l'Aigle.......	1-2	1 16	$\frac{1}{2045}$	400
Aldebaran ou α du Taureau..	1	1 37	$\frac{1}{1255}$	245
Bellatrix ou γ d'Orion......	2	2 0	$\frac{1}{820}$	160
ε d'Orion..................	2	3 9	$\frac{1}{330}$	65
ε du Grand Chien..........	2-3	3 12	$\frac{1}{320}$	63
γ de l'Aigle................	3	3 27	$\frac{1}{275}$	54
γ du Cygne..............	3	3 58	$\frac{1}{208}$	41
π d'Orion................	5	4 53	$\frac{1}{137}$	27
ζ du Cygne................	3	5 2	$\frac{1}{129}$	25
β de l'Aigle..............	4	5 39	$\frac{1}{102}$	14
σ d'Orion.................	4	8 52	$\frac{1}{41}$	8
λ d'Orion.................	4	16 30	$\frac{1}{11}$	2

Les mêmes expériences ont été faites en mettant devant la lunette des diaphragmes circulaires de différents diamètres qui réduisaient plus ou moins la quantité de lumière reçue de chaque étoile.

Avec un diaphragme de 49 millimètres de diamètre, on a obtenu les résultats suivants :

Noms des étoiles.	Grandeurs convenues des étoiles.	Azimuts d'apparition.	Sinus carrés des azimuts d'apparition.	Intensités relatives ou $\frac{\sin^2}{\sin^2 i'}$
Sirius..................	1	1° 4'	$\frac{1}{2884}$	1000
Rigel...................	1	2 37	$\frac{1}{479}$	162
Bellatrix...............	2	2 45	$\frac{1}{433}$	150
Wéga....................	1	2 55	$\frac{1}{385}$	133
Ataïr...................	1-2	3 12	$\frac{1}{320}$	111
L'Épi ou α de la Vierge..	1	5 30	$\frac{1}{108}$	37
γ de l'Aigle............	3	7 12	$\frac{1}{63}$	22
π d'Orion...............	5	7 19	$\frac{1}{61}$	21
γ du Cygne..............	3	7 25	$\frac{1}{59}$	20
ζ du Cygne..............	3	8 48	$\frac{1}{42}$	14
β de l'Aigle............	4	11 37	$\frac{1}{24}$	8

Un diaphragme de 39^{mill}.5 ayant remplacé le précédent, on a fait quelques observations dont voici les résultats :

Noms des étoiles.	Grandeurs des étoiles.	Azimuts d'apparition.	Sinus carrés des azimuts d'apparition.	Intensités relatives ou $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius..............	1	2° 12'	$\frac{1}{678}$	1000
Rigel...............	1	3 50	$\frac{1}{223}$	329
Bellatrix...........	2	5 3	$\frac{1}{128}$	188

Le diaphragme étant réduit à 29^{mill}.5, les observations ont fourni les chiffres suivants :

Noms des étoiles.	Grandeurs des étoiles.	Azimuts d'apparition.	Sinus carrés des azimuts d'apparition.	Intensités relatives ou $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius....................	1	2° 59′	$\frac{1}{368}$	1000
Arcturus ou α du Bouvier..	1	2 59	$\frac{1}{368}$	1000
Ataïr....................	1-2	4 12	$\frac{1}{185}$	503
Rigel....................	1	4 25	$\frac{1}{168}$	457
Procyon..................	1-2	4 36	$\frac{1}{154}$	418
Béteigeuse...............	"	4 51	$\frac{1}{139}$	378
ε du Grand Chien.........	2-3	5 31	$\frac{1}{107}$	290
Bellatrix................	2	6 7	$\frac{1}{87}$	237
Wéga.....................	1	6 29	$\frac{1}{77}$	209
Aldebaran................	1	6 45	$\frac{1}{71}$	193
L'Épi....................	1	8 16	$\frac{1}{47}$	128
ε d'Orion................	2	8 57	$\frac{1}{40}$	109
γ de l'Aigle.............	3	9 10	$\frac{1}{38}$	103
γ du Cygne...............	3	11 12	$\frac{1}{25}$	67
π d'Orion................	5	11 45	$\frac{1}{23}$	63
σ d'Orion................	4	12 57	$\frac{1}{19}$	51
ζ du Cygne...............	3	15 33	$\frac{1}{13}$	36
λ d'Orion................	4	22 0	$\frac{1}{6}$	17

Enfin le diaphragme étant diminué jusqu'à n'avoir plus que 19 millimètres, quelques observations ont donné :

Noms des étoiles.	Grandeurs des étoiles.	Azimuts d'apparition.	Sinus carrés des azimuts d'apparition.	Intensités relatives ou $\frac{\sin^2 i}{\sin^2 i'}$
Sirius..............	1	4° 51′	$\frac{1}{139}$	1000
Rigel...............	1	6 13	$\frac{1}{84}$	604
Bellatrix...........	2	9 26	$\frac{1}{36}$	259
π d'Orion..........	5	13 9	$\frac{1}{18}$	129

Tout le monde comprend qu'on peut arriver aussi aux intensités relatives des étoiles en cherchant sous quel angle il faut que la lumière d'une certaine étoile, de Sirius, par exemple, vienne traverser une plaque de verre à faces parallèles, pour que son éclat soit réduit à égaler celui d'une autre étoile visée directement. En se servant de la table donnée dans mon deuxième Mémoire sur la photométrie (p. 208), on a immédiatement le rapport qu'on se propose de déterminer. Cette méthode a fourni les résultats suivants :

Noms des étoiles.	Intensités relatives.
Sirius	1000
Wéga	550
Rigel	417
L'Épi	310
Bellatrix	200
π d'Orion	70

Le tableau suivant résume l'ensemble de toutes les observations :

Noms des étoiles.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	Moyennes.
Sirius	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Arcturus	"	"	"	1000	"	"	1000
Procyon	470	"	"	418	"	"	444
Béteigeuse	444	"	"	378	"	"	411
Rigel	444	162	329	457	604	417	402
Wéga	684	133	"	209	"	550	394
Ataïr	400	111	"	503	"	"	338
Aldebaran	245	"	"	193	"	"	219
Bellatrix	160	150	188	237	259	200	199
ε du Grand Chien	63	"	"	290	"	"	179
L'Épi de la Vierge	"	37	"	128	"	310	158
ε d'Orion	65	"	"	109	"	"	87
π d'Orion	27	21	"	63	129	70	62

Noms des étoiles.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	Moyennes.
γ de l'Aigle......	54	22	"	103	"	"	59
γ du Cygne......	41	20	"	67	"	"	43
σ d'Orion........	8	"	"	51	"	"	29
ζ du Cygne......	25	14	"	36	"	"	25
β de l'Aigle......	14	8	"	"	"	"	11
λ d'Orion........	2	"	"	17	"	"	9

Les différences que présentent les résultats des diverses observations peuvent s'expliquer de deux manières :

Ou bien, le ciel étant quelque peu nuageux, l'image stellaire dont il s'agit de déterminer l'azimut d'apparition se projette sur un fond qui n'est pas partout d'une obscurité complète, et alors les angles obtenus par le prisme rotatif pour la réapparition des images de certaines étoiles sont trop grands; par contre, les intensités comparatives d'éclat sont trop petites;

Ou bien, il y a un bien plus grand nombre d'étoiles variables que n'en indique l'observation directe non aidée de mesures photométriques.

Des expériences du genre de celles que je viens de décrire devront donc être répétées un grand nombre de fois. Elles conduiront certainement à des conséquences importantes. Je ne réclame d'autre mérite que celui d'avoir donné aux astronomes un instrument de mesure exact et commode.

II

GRADUATION EXPÉRIMENTALE DU POLARIMÈTRE

Dans mon premier Mémoire sur la photométrie j'ai indiqué l'usage que j'ai pu faire du polarimètre pour

vérifier la loi du carré du cosinus. Comme, à l'origine de mes recherches, le polarimètre n'était pas gradué, je dus chercher un moyen de m'en servir en me passant de sa graduation [1].

Je vais indiquer le procédé qui a été mis à exécution depuis cette époque pour faire la graduation expérimentale de cet instrument.

On sait que mon polarimètre est simplement une lunette polariscopique devant laquelle se trouve placée une pile de plaques de verre susceptible de prendre toutes sortes d'inclinaisons relativement au faisceau incident. Un arc gradué convenablement disposé sert à mesurer facilement la valeur de l'inclinaison dans chaque observation. Il s'agit d'expliquer le parti que l'on peut tirer de la détermination de pareils angles.

Lorsqu'un rayon partiellement polarisé, c'est-à-dire composé de lumière neutre et de lumière complétement polarisée, traverse dans une direction convenable une pile de glaces sous un angle suffisamment petit, ce rayon devient neutre. Le polariscope qui reçoit le faisceau émergent doit par conséquent donner alors des images sans aucune coloration. J'ai fait, il y a bien des années [2], plusieurs expériences avec de telles piles de glaces pour déterminer les angles qui précèdent et les angles qui suivent l'angle de la polarisation complète par réflexion pour lesquels les faisceaux réfléchis contiennent des proportions égales de lumière polarisée. Ces proportions n'étaient

1. Voir p. 179.

2. Voir la Notice sur la Polarisation, t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 312 et 377.

pas alors déterminées; il suffisait de vérifier leur égalité et par conséquent de dépolariser exactement les faisceaux lumineux en les recevant sous les mêmes angles sur la pile de glaces. Il s'agit maintenant de combler cette lacune et de trouver les proportions elles-mêmes.

Lorsqu'on fait passer un rayon complétement polarisé à travers une lame de cristal de roche taillée parallèlement à l'axe, on peut le transformer[1] en un nouveau rayon partiellement polarisé dans lequel, par une application de la loi du carré du cosinus maintenant démontrée expérimentalement, on sait la quantité de lumière neutre et la quantité de lumière polarisée qu'il contient. Ainsi dans une certaine position de la lame, il y a dans le rayon qui la traverse 2 dixièmes de lumière neutre et 8 dixièmes de lumière polarisée; dans une autre position, la quantité de lumière neutre est 3 et la quantité de lumière polarisée 7; une troisième position donne les nombres 4 et 6, et ainsi de suite.

La loi mathématique qui lie la quantité de lumière polarisée à la quantité de lumière neutre qui se trouve dans le faisceau total représenté par 1, donne $\cos 2i$ pour la première et $2 \sin^2 i$ pour la seconde, i étant l'angle que fait la section principale de la lame de cristal de roche avec le plan de polarisation du faisceau qui la traverse[2].

D'après ces principes on n'a donc qu'à faire passer des rayons entièrement polarisés à travers une lame de

1. Voir p. 174.
2. Voir p. 176.

cristal de roche taillée parallèlement à l'axe et dont les angles de la section principale avec le plan de polarisation puissent être déterminés par un cercle gradué, et ensuite à travers une pile composée d'un nombre d'éléments déterminés et sous des inclinaisons convenables pour faire disparaître toute trace de coloration au polariscope. On obtiendra ainsi un polarimètre gradué. C'est cette méthode qu'à ma prière M. Laugier a suivie pour remplir la table que je vais mettre sous les yeux du lecteur.

Dans cette table, au-dessous des quantités de lumière neutre et de lumière polarisée contenues dans le rayon soumis à l'épreuve, on trouve les inclinaisons sous lesquelles ce rayon doit traverser des piles, d'une, de deux, de trois,..... de dix lames de verre pour qu'il devienne neutre.

Cette table pourra servir à résoudre une multitude de questions d'optique, à étudier la composition des rayons réfléchis et transmis par diverses substances aux différentes incidences, à déterminer les lois de la polarisation de la lumière de l'atmosphère, etc. Quoiqu'elle ne renferme que des déterminations relatives à des lames de verre, il est facile de voir qu'elle pourra servir pour trouver la composition de rayons qui eussent semblé exiger l'emploi de piles composées d'un plus grand nombre d'éléments. En effet, j'ai donné (p. 209) une table qui indique le rapport des intensités de la lumière réfléchie et de la lumière transmise par une lame de verre à faces parallèles sous diverses inclinaisons. D'un autre côté, d'après la loi que j'ai découverte sur l'égalité qui existe

entre les quantités de lumière polarisée des deux faisceaux réfléchi et transmis, la proportion de lumière polarisée déterminée après l'interposition d'une lame de verre sous un angle connu servira à donner la proportion primitive, c'est-à-dire celle que l'expérience ne fournissait pas directement. On comprend aussi que, inversement, l'étude, par le moyen du polarimètre gradué, des proportions de lumière polarisée contenues dans des rayons réfléchis ou transmis sous des inclinaisons très-voisines de la perpendiculaire, fera connaître le rapport des intensités des faisceaux.

Table des inclinaisons sous lesquelles une pile de glaces dépolarise un faisceau de lumière polarisée lorsqu'il traverse une plaque de cristal de roche dans différents azimuts.

Azimut de la plaque de cristal de roche à partir de la section principale $= i =$............	25° 0′	27° 30′	30° 0′	32° 30′
Lumière polarisée contenue dans le faisceau $= \cos 2i =$...	0.643	0.574	0.500	0.423
Lumière neutre contenue dans le faisceau $= 2\sin^2 i =$.......	0.357	0.426	0.500	0.577

Nombres des éléments de la pile de glaces.	Angles sous lesquels la pile de glaces dépolarise.			
1....................	"	"	"	"
2....................	"	"	"	27° 19′
3....................	"	"	34° 20′	38 6
4....................	26° 38′	33° 45′	37 25	41 52
5....................	36 25	39 51	44 24	46 3
6....................	35 26	42 20	46 50	49 8
7....................	45 58	47 6	48 55	50 51
8....................	40 35	44 34	47 25	50 40
9....................	47 6	50 4	52 42	55 16
10....................	44 32	47 29	50 3	52 42

Azimut de la plaque de cristal de roche à partir de la section principale $= i =$	35° 0′	37° 30′	40° 0′	42° 30′
Lumière polarisée contenue dans le faisceau $= \cos 2i =$....	0.342	0.259	0.174	0.087
Lumière neutre contenue dans le faisceau $= 2 \sin^2 i =$.......	0.658	0.741	0.826	0.913

Nombres des éléments de la pile de glaces.	Angles sous lesquels la pile de glaces dépolarise.			
1.....................	18° 58′	25° 6′	32° 47′	38° 01′
2.....................	34 38	41 4	46 50	51 18
3.....................	41 52	45 1	50 31	58 12
4.....................	45 36	50 32	56 28	61 15
5.....................	50 17	52 55	55 41	63 46
6.....................	52 32	55 42	62 19	68 9
7.....................	53 30	57 51	61 35	66 56
8.....................	54 16	58 15	62 10	70 4
9.....................	57 0	59 7	63 13	68 37
10.....................	56 19	59 19	68 37	71 9

Le polarimètre, ainsi que le montre la figure ci-jointe (fig. 9, p. 276), est un instrument très-portatif, facilement maniable, dont les voyageurs se serviront sans difficulté. Il pourra être tenu à la main ou posé sur une table au moyen d'un pied. Le cercle gradué *mn* indiquera sans difficulté l'angle de la pile de glaces *pq* avec le rayon lumineux pénétrant dans le polariscope *ao* par l'objectif *o*; un vernier *v* donnera au besoin les minutes de degré. On empêchera les rayons réfléchis par la pile de pénétrer dans la lunette polariscopique par une bande de drap tendue en *sr*.

La lunette étant mobile en *c* sur son pied, prendra par rapport à l'horizon diverses positions angulaires qu'on pourra mesurer par le cercle gradué *de* entraîné dans les

mouvements de la lunette, le niveau à bulle d'air *fg* marquant la ligne horizontale.

On eût pu arriver à la graduation du polarimètre d'une autre manière.

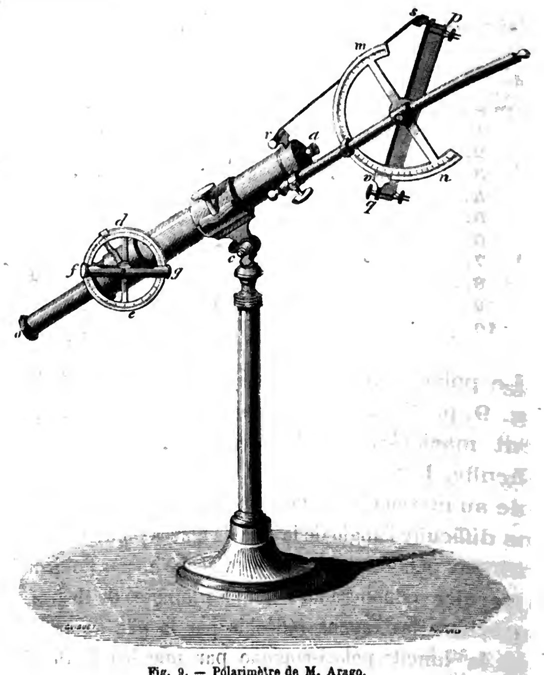


Fig. 9. — Polarimètre de M. Arago.

Qu'on imagine une lunette prismatique de Rochon, portant un bouchon percé de deux ouvertures égales; que devant ces ouvertures on place les deux moitiés d'une

même tourmaline arrangées de manière à avoir leurs sections principales rectangulaires. Dans la lunette ainsi disposée, les images focales se trouveront formées de deux faisceaux polarisés à angles droits. Or on pourra graduer à volonté leurs intensités relatives en couvrant telle ou telle portion de la surface d'une des tourmalines. En plaçant sur le trajet des deux faisceaux aboutissant au foyer une lame de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, on colorera les images ; à l'aide de plaques de verre ordinaire, plus ou moins inclinées, situées entre l'objectif et la lame cristalline, on pourra effacer ces couleurs. Les expériences donneront donc une échelle d'inclinaison des lames, correspondante à la neutralisation des faisceaux contenant toutes les proportions possibles de lumière polarisée. Cela fait, la lunette, débarrassée de ses tourmalines, devient un moyen efficace d'étudier la composition de tous les rayons lumineux, réfléchis ou transmis sous toutes sortes d'angles et par toutes les espèces de matières.

III

COLORIGRADE — CYANOMÈTRE

Dès 1815 je me suis occupé d'appliquer la variation des teintes de diverses couleurs que fournit la polarisation chromatique à la mesure de l'intensité des lumières colorées. J'ai mis en 1845 sous les yeux de l'Académie des sciences la lunette polarimétrique dont je me suis servi pour faire diverses expériences sur le sujet si délicat des causes de la coloration des corps et sur la mesure de

l'intensité des diverses couleurs[1]. Cet instrument est encore une lunette prismatique, mais celle-ci porte devant l'objectif une lame de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe, qui est composée de deux plaques d'égale épaisseur, exerçant sur la lumière polarisée des actions de sens opposés, accolées l'une à côté de l'autre. Une pareille lame de quartz ainsi préparée fait tourner la lumière polarisée en sens contraires dans les deux moitiés de son étendue. Il en résulte que dans une certaine position de la lunette, la lumière, même quand elle arrive complétement polarisée, donne des images incolores. Lorsque cette position est trouvée expérimentalement, on n'a qu'à couvrir des portions aliquotes quelconques d'une des deux moitiés de la lame, et les images se colorent par des parties aliquotes correspondantes des deux couleurs dont se teindraient les deux images si elles se formaient à l'aide de la lumière polarisée transmise seulement par l'une des deux moitiés de la plaque. On aura donc des rapports déterminés entre les intensités d'une même couleur. Par conséquent, en employant cette lunette avec des verres monochromatiques, on pourra résoudre une

1. J'ai présenté en 1845 cette lunette à l'Académie parce qu'un artiste de talent, M. Soleil, qui a pour successeur son gendre, M. Duboscq, autre artiste très-habile, a communiqué dans la même séance un instrument où les lames de cristal de roche à deux rotations jouent un rôle essentiel et très-curieux. Or, quoique les deux appareils soient entièrement distincts par leur forme et par leur objet, j'ai tenu à montrer que le mien a précédé celui de l'ingénieux opticien. Les savants doivent, suivant moi, respecter jusqu'au scrupule les droits des artistes qui travaillent pour eux. S'il était vrai que ce principe eût été quelquefois méconnu, j'aurais montré par ces explications combien il me paraît sacré.

multitude de problèmes relatifs à la photométrie compliqués de phénomènes de polarisation.

J'ai aussi construit en 1815 un cyanomètre dont M. Biot a bien voulu insérer l'annonce dans le *Bulletin de la Société philomatique* pour janvier 1817 [1] et dans lequel je trouvais le bleu en recevant à travers un tube terminé d'un côté par une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe et de l'autre par un prisme achromatisé doué de la double réfraction, un rayon polarisé par réflexion sur un verre noir. J'ai décrit ailleurs cet instrument et j'ai indiqué les objections qu'on pouvait faire

1. La Note de M. Biot, insérée dans le *Bulletin de la Société philomatique de* 1817, est ainsi conçue : « En décrivant dans un des derniers numéros de ce Bulletin la construction d'un colorigrade comparable, qui reproduit graduellement toutes les teintes des anneaux de Newton, par l'action progressivement croissante d'une plaque de cristal sur un rayon de lumière polarisée, j'ai expliqué comment cet appareil, à l'aide d'une modification très-simple, pouvait se transformer en un cyanomètre dans lequel les diverses nuances de bleu étaient successivement données par les dégradations d'une même image qui offrant d'abord le blanc du premier ordre de la table de Newton, remonte peu à peu dans ce même ordre au bleu léger et au bleu sombre, par lesquels ce blanc est immédiatement précédé.

« J'ai appris depuis cette époque, de M. Arago, qu'il avait construit, avant moi, un cyanomètre où il emploie aussi la lumière polarisée, quoique sur d'autres principes; les nuances successives de bleu y sont produites par une même teinte de bleu fixe qui se mêle graduellement, et en proportion connue, avec des portions de blanc successivement croissantes. M. Arago avait remis un de ces appareils à M. Tennant lors de son dernier voyage en France. Il est à désirer pour la science que M. Arago publie les détails de la construction de cet appareil, ainsi que l'application ingénieuse qu'il a faite du même procédé de mélanges de teintes à la mesure des rapports d'intensité de la lumière sur les diverses parties du disque du Soleil. »

contre son emploi[1]. Je l'ai modifié de manière à rendre ses indications comparables et son usage facile. Il n'est qu'une extension de mon polarimètre. On sait que ma lunette polariscopique se compose d'un tube fermé à l'une de ses extrémités par une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, de 5 millimètres d'épaisseur, et d'un prisme doué de la double réfraction placé du côté de l'œil. Parmi les couleurs variées que donne cet appareil lorsque de la lumière polarisée le traverse et qu'on fait tourner le prisme sur lui-même, se trouve, par un heureux hasard, la nuance du bleu de ciel. Cette couleur bleue fort affaiblie, c'est-à-dire très-mélangée de blanc, lorsque la lumière est presque neutre, augmente d'intensité progressivement, à mesure que les rayons qui pénètrent dans l'instrument renferment une plus grande proportion de rayons polarisés.

Supposons donc que le polariscope AB (fig. 10) soit dirigé sur une feuille de papier blanc CD, qu'entre cette feuille et la lame de cristal de roche B il existe une pile de plaques de verre EF susceptible de changer d'inclinaison par rapport à l'axe de la lunette, ce qui rend la lumière éclairante du papier plus ou moins polarisée. La couleur bleue fournie par l'instrument va en augmentant avec l'inclinaison de la pile. On arrête le mouvement de la pile de glaces lorsque la couleur obtenue paraît la même que celle de la région de l'atmosphère dont on veut déterminer la teinte cyanométrique et qu'on regarde à l'œil nu immédiatement à côté de l'instrument tenu à

1. T. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 145.

la main. La mesure de cette teinte est donnée par l'inclinaison de la pile qu'on détermine par le cercle gradué GH. Si la pile se compose toujours du même nombre de

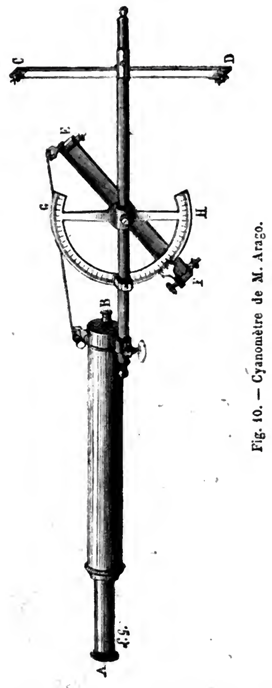


Fig. 10. — Cyanomètre de M. Arago.

plaques et d'une même espèce de verre, les observations faites en divers lieux sont parfaitement comparables entre elles.

SEPTIÈME

MÉMOIRE SUR LA PHOTOMÉTRIE

APPLICATION A LA SOLUTION DE DIVERS PROBLÈMES D'ASTRONOMIE ET DE MÉTÉOROLOGIE

COMMUNIQUÉ A L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 17 JUIN 1850 [1]

I

DÉTERMINATION DE LA HAUTEUR DES NUAGES

J'ai indiqué l'évaluation de la hauteur des nuages isolés comme une des déductions possibles de l'emploi des polarimètres gradués. Quelques personnes ont élevé des doutes sur la réalité d'une telle application, mais je sup-

1. Mémoire inédit dont les *Comptes rendus* de l'Académie contiennent seulement l'extrait suivant : « L'auteur a expliqué, dans ce Mémoire, les principes de la méthode qui conduit à la détermination de la hauteur des nuages isolés en se fondant sur des phénomènes de polarisation.

« Il a indiqué ensuite le procédé à l'aide duquel on peut déterminer les intensités comparatives de la lumière qui nous est réfléchie par les diverses parties de la Lune, et a fait connaître les résultats des expériences numériques faites, à sa prière, par M. Laugier.

« Le troisième paragraphe de ce Mémoire est consacré à l'étude de la lumière cendrée.

« Dans le quatrième sont consignés les résultats, singuliers et inexpliqués jusqu'ici, relatifs à la disparition des satellites de Jupiter et à celle de la planète lorsqu'on fait subir à leur lumière un affaiblissement graduel. »

pose que, une fois avertis, les voyageurs qui se proposent de parcourir les pays montagneux pourront en rapporter des observations propres à perfectionner la solution de ce problème curieux. Cette solution repose sur plusieurs propriétés de la lumière atmosphérique qui méritent d'être vérifiées par de nouvelles observations.

D'abord, la lumière d'un nuage éclairé par le Soleil, celle surtout qui nous le fait voir par transmission, est-elle polarisée ?

Les observations que j'ai faites m'autorisent à répondre négativement. Mais, qu'on le remarque bien, les occasions de faire ces observations sont fort rares ; il faut que l'observateur soit presque en contact avec le nuage ; sans cela la lumière polarisée de la portion d'atmosphère comprise entre la surface de ce nuage et l'œil viendrait se joindre à celle dont on veut étudier la nature et conduire à des conséquences erronées. Pour suppléer au petit nombre d'épreuves qu'il m'a été donné de faire moi-même, ou de faire exécuter par d'autres, j'ai été réduit à opérer sur des nuages artificiels, c'est-à-dire sur la vapeur d'eau, à l'état vésiculaire, émanant d'une marmite de Papin ou d'une chaudière de machine à vapeur. Je recommande donc aux observateurs d'examiner de près avec un polariscope la lumière des nuages près desquels ils se trouveront placés. Ce qu'ils auront à noter sera simplement ceci : Les lunules du polariscope dirigé sur le nuage présentent-elles ou ne présentent-elles pas des couleurs ? M. Barral, dans les voyages aérostatiques qu'il a exécutés avec M. Bixio, a attentivement étudié les nuages, sur la recommandation expresse que je lui

en avais faite et avec une lunette polariscopique que je lui avais donnée ; ses observations ont complétement vérifié l'absence de polarisation sur les nuages avec lesquels il s'est trouvé en contact, soit que la lumière reçue par l'instrument fût renvoyée par transmission à travers les nues, soit qu'elle fût réfléchie à leur surface [1].

La seconde question à résoudre définitivement est celle-ci :

Dans une direction donnée, à toutes les hauteurs d'une colonne atmosphérique, la proportion de lumière polarisée est-elle la même ?

Je n'ai vérifié jusqu'ici ce fait que par des moyens indirects ; il serait utile de l'établir par un usage judicieux du polarimètre dans les pays de montagnes, ou mieux encore, s'il y a lieu, par une ascension aérostatique.

On a essayé de déterminer par expérience la loi de la distribution de la lumière dans l'atmosphère, de fixer, par exemple, de quelle quantité il faut s'élever dans la direction verticale ou dans une direction inclinée, pour que la lumière atmosphérique soit réduite de $\frac{1}{10^e}$, de $\frac{2}{10^{es}}$, de $\frac{3}{10^{es}}$.... de son intensité primitive. Si le principe énoncé plus haut sur le rapport constant de la lumière polarisée à la lumière totale, à toutes les hauteurs, est fondé, la loi qui donnerait la diminution d'intensité fournirait en même temps la loi de diminution dans la quantité totale de lumière polarisée contenue dans chaque direction.

Cela posé, je passe à l'explication de la méthode que j'ai imaginée pour mesurer la hauteur des nuages.

1. Voir t. IX des *OEuvres*, p. 511 et 516.

Un nuage isolé, de très-petite dimension, se présente : s'il est très-bas, à la hauteur de quelques mètres, par exemple, sa lumière ne semblera nullement polarisée ; si sa hauteur est considérable, au contraire, la lumière partiellement polarisée de la portion d'atmosphère comprise entre le nuage et l'œil se mêlera à la lumière neutre du nuage, et le mélange sera partiellement polarisé. Tout restant égal de part et d'autre, cette polarisation partielle sera d'autant plus intense que le nuage sera plus haut.

Déterminons avec le polarimètre la *proportion* de lumière polarisée qui est contenue dans la lumière totale ; supposons que l'observation ait été faite en visant à l'un des bords même du petit nuage.

Déterminons par une observation directe le rapport qu'il y a entre l'intensité de la lumière correspondant au bord du nuage, et l'intensité de la lumière du ciel dans la portion immédiatement contiguë au nuage. L'observation du polarimètre ayant fait connaître le rapport qui existe entre la lumière polarisée correspondant au nuage et la lumière totale, j'aurai maintenant, par une simple *partie proportionnelle*, le rapport qui existe entre cette lumière polarisée et la totalité de la lumière atmosphérique dans la direction indéfinie qui rase le nuage.

Le polarimètre appliqué à l'observation de cette lumière indéfinie me fera connaître la proportion de lumière polarisée qu'elle contient. Par une nouvelle règle de trois, je trouverai donc le rapport qu'il y a entre la lumière polarisée contenue dans la direction du nuage et la lumière polarisée contenue dans la direction indéfinie

une direction déterminée, et à une heure donnée de la journée, est la même, quelle que soit la position qu'on occupe au-dessus de la surface de la Terre, pourvu qu'on ne cesse pas de regarder dans la même direction. » Ainsi, en visant toujours vers le zénith, par exemple, on trouverait la même proportion de lumière polarisée, que l'on fût à 1,000, à 2,000, à 4,000... à 10,000 mètres de hauteur au-dessus du sol. Théoriquement, et en ne tenant pas compte des réflexions secondaires, les choses doivent se passer comme je viens de le dire. Expérimentalement, elles m'ont paru conformes à cette règle; mais les essais n'ont été, sous ce rapport, ni assez variés, ni assez multipliés.

Quant à la table qui sera nécessaire pour appliquer la méthode, elle fera connaître quel chemin on doit parcourir, dans chaque direction, pour que la lumière totale atmosphérique qui arrive à l'observateur dans cette direction diminue de $\frac{1}{10^{e}}$, de $\frac{2}{10^{es}}$, de $\frac{3}{10^{es}}$,... etc., ou suivant une progression procédant par toute autre partie aliquote.

Si la seconde loi énoncée ci-dessus est exacte, il est évident que la quantité de lumière polarisée doit changer d'intensité avec la hauteur, comme la lumière totale atmosphérique; en sorte que si l'on parvenait à éteindre la lumière naturelle atmosphérique et à ne conserver dans chaque direction que la lumière polarisée, la loi de décroissement d'intensité serait exactement la même.

Ceci une fois établi, un nuage isolé se présente dans un point du ciel; la loi de la polarisation pour la portion limitée d'atmosphère correspondant au nuage et très-près de son bord, sera la même que pour le rayon indéfini

tangent au bord du nuage et se prolongeant jusqu'aux dernières limites de l'atmosphère. Supposons qu'avec un polarimètre, je détermine la proportion de lumière polarisée qui est contenue dans le rayon visuel aboutissant au bord du nuage ; cette proportion, en vertu du premier principe, ne pourra dépendre que de la lumière polarisée contenue dans la portion d'air atmosphérique comprise entre le nuage et l'observateur. Comparons l'intensité totale de ce rayon limité à l'intensité du rayon indéfini qui coïncide presque avec lui. Puisqu'on savait à quelle partie aliquote du rayon limité était égale la portion de lumière polarisée que ce rayon contenait, on saura maintenant à quelle partie aliquote du rayon indéfini est égale cette même portion de lumière polarisée. Le polarimètre fera connaître à quelle portion aliquote du rayon indéfini s'élève la lumière polarisée que ce rayon renferme ; nous saurons donc quel rapport il y a entre la lumière polarisée contenue dans le rayon limité et la lumière polarisée contenue dans le rayon indéfini ; c'est-à-dire que nous connaîtrons si la première est $\frac{1}{10^{e}}$, ou $\frac{2}{10^{es}}$, ou $\frac{3}{10^{es}}$,... de la seconde. Mais nous avons déjà, par hypothèse, une table qui donne le décroissement de la lumière atmosphérique, ou, ce qui revient au même, le décroissement de la lumière polarisée, à mesure que l'on s'avance dans la direction d'un rayon atmosphérique.

Nous n'aurons qu'à chercher dans cette table la distance qu'il faut parcourir pour que la lumière polarisée contenue dans le rayon indéfini diminue d'une quantité égale à la lumière polarisée contenue dans le rayon limité, et le problème sera résolu.

Pour passer de la longueur du rayon limité, ainsi déterminé, à la hauteur absolue du nuage, il n'y aura qu'à résoudre un triangle rectangle dont l'hypoténuse sera cette longueur du rayon limité, et dont l'angle à l'œil de l'observateur sera mesuré à l'aide d'un quart de cercle ou de tout autre instrument analogue. Si le nuage était au zénith, on obtiendrait sa hauteur directement, c'est-à-dire sans aucun calcul trigonométrique.

II

INTENSITÉS COMPARATIVES DE LA LUMIÈRE RÉFLÉCHIE VERS LA TERRE PAR LES DIVERSES PARTIES DE LA SURFACE DE LA LUNE

La méthode que j'ai imaginée pour déterminer les intensités relatives de la lumière que réfléchissent vers la Terre les diverses parties de la surface de la Lune éclairées directement par le Soleil, est encore fondée sur l'emploi de la lunette prismatique de Rochon devant laquelle est placé un prisme rotatif de Nicol. L'appareil est disposé de manière qu'un cercle gradué indique exactement de quel angle on fait tourner le prisme de Nicol à partir d'une position initiale dans laquelle on n'aperçoit qu'une seule image. Soient a l'intensité de la lumière d'une certaine partie de la Lune, b l'intensité d'une autre partie de la surface de notre satellite moins brillante. Faisons tourner le prisme de Nicol d'un angle i tel que l'image faible ou extraordinaire de la première partie soit égale à l'image forte ou ordinaire de la seconde. D'après la loi du carré du cosinus, l'intensité de la première image

sera représentée par $a \sin^2 i$, et celle de la seconde par $b \cos^2 i$. Par hypothèse, l'expérience donne l'angle i pour lequel on trouve que les deux images sont égales. On a donc :

$$a \sin^2 i = b \cos^2 i,$$

d'où l'on tire

$$\frac{b}{a} = \frac{\sin^2 i}{\cos^2 i} = \tang^2 i.$$

Le problème posé en tête de ce paragraphe se ramène donc à la détermination d'un angle très-facile à trouver si l'on a un peu l'habitude de ce genre de recherches.

Une autre méthode non moins facile à employer consiste à chercher sous quel angle on obtient la disparition de l'image faible projetée sur l'image forte.

La Lune étant pleine ou presque pleine, pour comparer la lumière du bord à celle de ces taches qui portent le nom de mers, voici comment j'opère à l'aide de la petite lunette prismatique portant devant son objectif un prisme de Nicol :

Je cherche la position des sections principales qui amène la disparition de bord sur bord. Supposons que cela ait lieu lorsque la faible image est la vingtième partie de la forte. Amenons ensuite le bord de l'image faible sur la tache de l'image forte et cherchons l'azimut de la disparition. Sous cet azimut, l'intensité du bord sera le vingtième de l'intensité de la tache. On a dès lors tout ce qu'il faut pour déterminer les intensités comparatives.

Soient i l'azimut; T l'intensité naturelle de la tache; B

celle du bord. Dans l'image forte, l'intensité de la tache sera représentée par $T \cos^2 i$. L'intensité du bord dans l'image faible aura pour expression $B \sin^2 i$. L'expérience conduit donc à l'équation :

$$B \sin^2 i = \frac{1}{20} T \cos^2 i,$$

d'où l'on tire

$$T = 20 B \operatorname{tang}^2 i.$$

Lorsque la Lune est en croissant et que les taches en question se trouvent sur le bord de la partie éclairée, on place le bord de l'image affaiblie en contact avec la tache de l'image forte, et on rend leurs intensités égales par une comparaison directe. L'équation donnée par l'expérience est alors celle-ci :

$$T \cos^2 i = B \sin^2 i,$$

d'où

$$T = B \operatorname{tang}^2 i.$$

Ces deux modes d'observation ont fourni des résultats plus discordants qu'on ne devait s'y attendre. L'explication de ces anomalies est facile à donner; elle prouve, du reste, que dans l'étude des phénomènes naturels, lorsqu'on cherche une chose, on en découvre souvent une autre, placée à côté, et à laquelle on n'avait pas songé. Les différences en question tiennent évidemment à ce que les divers points du contour de la Lune ne sont pas tous également lumineux.

Les observations des intensités comparatives des diverses régions du globe lunaire devront désormais être

faites en ayant égard à cette circonstance nouvelle.

En moyenne, l'intensité du bord de la Lune est à l'intensité des grandes taches dans le rapport de **2.7 à 1.**

L'expérience prouve, en effet, que le bord de l'image faible disparaît sur le bord de l'image brillante, lorsque l'azimut est de 13° 25', et que le bord de l'image faible disparaît sur les grandes taches, lorsque l'azimut est de 8° 12'. Par conséquent, le rapport x de l'intensité de l'image faible ou extraordinaire du bord à celle de l'image forte ou ordinaire de ce bord est

$$x = \frac{B \sin^2 13^\circ 25'}{B \cos^2 13^\circ 25'} = \text{tang}^2\, 13^\circ 25'.$$

D'un autre côté on a aussi :

$$B \sin^2 8^\circ 12' = x\, T \cos^2 8^\circ 12',$$

d'où l'on tire :

$$\frac{B}{T} = \frac{\text{tang}^2\, 13^\circ 25'}{\text{tang}^2\, 8^\circ 12'} = \frac{27}{10}.$$

Par l'autre moyen d'observation, en amenant une partie très-brillante du bord dans le voisinage d'une tache sombre, on a trouvé que, pour que cette partie du bord devînt égale en éclat à la tache, il fallait que les sections principales des deux prismes fissent un angle de 14° 15', d'où l'on conclut :

$$B \sin 14^\circ 15' = T \cos^2 14^\circ 15',$$

et par conséquent

$$\frac{T}{B} = \text{tang}^2\, 14^\circ 15' = \frac{1}{15.5};$$

d'où il suit que cette partie du bord est 15 fois et demie plus brillante que la grande tache.

Un point brillant isolé, situé non loin de la ligne de séparation d'ombre et de lumière, a disparu dans l'azimut de 7° 3′ tandis que la Lune ne disparaissait que pour l'azimut de 41′. Par conséquent, on a

$$\frac{P}{L} = \frac{\text{tang}^2\, 7^\circ\, 3'}{\text{tang}^2\, 0^\circ\, 41'} = 108.$$

Ainsi le point brillant observé était 108 fois plus brillant que la surface générale du satellite.

III

ÉTUDE DE LA LUMIÈRE CENDRÉE

Pour comparer la lumière cendrée à la lumière de la portion de la Lune éclairée par le Soleil, il suffit de faire apparaître graduellement la seconde image de la Lune, l'image faible, et de s'arrêter au moment où la portion de cette image éclairée par le Soleil est égale à la lumière cendrée de la forte image en contact avec elle. Il est évident que dans cette observation, il sera indispensable de noter le point du contour de la Lune qui servira de terme de comparaison, puisque tous les points de ce contour ne sont pas également lumineux.

Le mois de mai 1850 était une époque peu propre à ce genre d'expériences, parce qu'au moment où la lumière cendrée devait être très-visible, la Lune se levait ou se couchait presque en même temps que le Soleil.

Néanmoins, le peu d'expériences qu'on a pu faire alors a prouvé que la méthode donnera des résultats précis, ainsi que cela résultait d'ailleurs d'essais que j'avais tentés anciennement.

Dans une première expérience, faite le 16 mai 1850, alors que la Lune était dans son premier quartier, la lumière cendrée a été trouvée égale à $\frac{1}{4,000^e}$ de la lumière lunaire, et dans une seconde, faite le 2 juin, on a trouvé qu'elle était inférieure à $\frac{1}{7,000^e}$.

En effet, l'azimut qui a amené, le 16 mai, l'égalité entre l'image forte de la lumière cendrée et l'image faible de la partie lumineuse a été de 55′ ; donc on a eu l'équation

$$L \sin^2 55' = C \cos^2 55',$$

d'où

$$\frac{C}{L} = \tang^2 55' = \frac{1}{3,906}.$$

Le 2 juin suivant, alors que la Lune était dans son dernier quartier, on n'apercevait aucune trace de lumière cendrée. A cette époque, l'image faible de la Lune a presque disparu lorsque l'azimut a été de 41′. Le rapport des intensités des deux images était alors égal à $\tang^2 41' = \frac{1}{7,030^e}$.

La lumière cendrée était donc encore inférieure à cette quantité, c'est-à-dire à $\frac{1}{7,000^e}$ de celle de la partie brillante de la Lune.

Ces observations n'ont pu être continuées et étendues parce qu'en ce moment la Lune se levait et se couchait dans la lumière crépusculaire.

On trouvera dans l'*Astronomie populaire*[1] l'historique de la question et l'exposé des recherches entreprises à diverses époques sur la lumière cendrée.

IV

ÉTUDE DE LA LUMIÈRE DE JUPITER ET DE SES SATELLITES — DISPARITION DES SATELLITES DE JUPITER ET DE LA PLANÈTE

J'ai fait répéter en 1848 les observations que j'avais faites en 1843[2] sur la disparition des satellites de Jupiter et de la planète, lorsqu'on affaiblit graduellement leur éclat. Ces nouvelles observations, d'accord avec les anciennes, ont montré que les satellites disparaissent lorsque leur lumière est réduite au $\frac{1}{12^e}$, tandis que pour Jupiter la disparition n'a lieu que lorsque sa lumière est réduite à la $\frac{1}{600^e}$ partie de l'éclat primitif.

Ici se présentent deux difficultés. Pourquoi les satellites, avec des éclats si divers, disparaissent-ils tous à la fois, lorsqu'on affaiblit leurs images? pourquoi les satellites, plus lumineux que le bord de Jupiter, disparaissent-ils beaucoup plus tôt que ce bord?

La première difficulté peut être résolue en disant que la différence d'éclat des satellites tient à la différence de

1. T. III, p. 475 à 485.

2. Le tome XVII des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* contient seulement au sujet des observations de 1843 la mention suivante (séance du 2 octobre) : « M. Arago communique les résultats des recherches qu'il a entreprises afin de déterminer en nombres les affaiblissements comparatifs qu'il faut faire subir au disque de Jupiter et à ses satellites pour amener leur disparition. »

leurs diamètres. Il semble beaucoup plus difficile de rendre compte de la seconde difficulté.

Ce sont les observations de Pound qui ont fait voir que les satellites de Jupiter sont plus lumineux que la planète.

Le 19 mai 1850, jour de l'occultation de Jupiter par la Lune, peu d'instants après l'émersion, on a cherché les azimuts qui correspondaient à la disparition des images faibles de Jupiter et de la Lune projetées sur l'atmosphère voisine du bord de notre satellite. On a trouvé 2° 37′ pour l'azimut correspondant à la disparition de Jupiter, 0° 14′ pour l'azimut correspondant à la disparition de la Lune.

Soient a l'intensité de la lumière atmosphérique, L l'intensité de la lumière de la Lune et J celle de la lumière de Jupiter. On aura en vertu de la loi du carré du cosinus appliquée aux expériences précédentes :

$$\mathrm{L} \sin^2 14' = a \cos^2 14',$$

$$\mathrm{J} \sin^2 2^\circ 37' = a \cos^2 2^\circ 37',$$

d'où l'on tire :

$$\frac{a}{\mathrm{L}} = \mathrm{tang}^2\, 14' = \frac{1}{60{,}300},$$

$$\frac{a}{\mathrm{J}} = \mathrm{tang}^2\, 2^\circ 37' = \frac{1}{479},$$

et, par conséquent,

$$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{L}} = \frac{479}{60{,}300} = \frac{1}{126}.$$

Ainsi la lumière que nous envoyait la Lune était 126 fois plus intense que celle que la Terre recevait de Jupiter.

J'ai rapporté dans l'*Astronomie populaire* [1] une expérience d'où il résulte que dans un espace assez grand à partir des pôles de la planète, la lumière que Jupiter nous réfléchit est au moins deux fois plus faible que celle qui nous vient des régions qui avoisinent son équateur.

J'ai indiqué aussi dans le même ouvrage [2] le principe de la méthode dont on devrait se servir pour obtenir l'intensité comparative de la bande brillante avec la bande obscure de la planète. Voici plus généralement, d'après ce qu'a fourni la vérification expérimentale de la loi photométrique du carré du cosinus, comment la lumière totale se répartit entre l'image ordinaire et l'image extraordinaire. Soient a l'intensité de la lumière de la bande brillante centrale, b l'intensité de la bande obscure qu'on veut lui comparer. Si β est la quantité dont la section principale du prisme a changé, $b \cos^2 \beta$ sera l'intensité que conservera la bande obscure dans l'image ordinaire; $a \sin^2 \beta$ sera l'intensité qu'aura acquise la bande brillante dans l'image extraordinaire. Par hypothèse, pour l'angle de rotation β du prisme, l'image ordinaire de la bande obscure est égale à l'image extraordinaire de la bande brillante; par conséquent on a

$$b \cos^2 \beta = a \sin^2 \beta,$$

ou bien

$$\frac{b}{a} = \operatorname{tang}^2 \beta.$$

1. T. IV, p. 338.
2. *Ibid.*, p. 346.

MÉMOIRE

SUR

DES PROJETS D'EXPÉRIENCES

DESTINÉES A COMPLÉTER LES RÉSULTATS DÉJA OBTENUS EN 1815 ET ANNÉES SUBSÉQUENTES, RELATIVEMENT AU MAXIMUM DE DENSITÉ DE L'EAU, A LA RÉFRACTION DE L'EAU SOUS DIVERSES PRESSIONS, A L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA RÉFRACTION DES CORPS ET A LA RÉFRACTION DE L'HYDROPHANE IMBIBÉE DE DIVERS LIQUIDES [1]

I

PRÉAMBULE

En annonçant à l'Académie l'intention où j'étais de publier mes travaux inachevés, j'avais dit que je chercherais à remplir les lacunes avec le concours de collaborateurs jeunes et dont la vue ne fût pas fatiguée comme la mienne.

J'ai fait connaître déjà le nom des observateurs qui

1. Ce Mémoire a été présenté à l'Académie des sciences le 5 août 1850. Le compte-rendu de la séance en renferme un extrait qui se compose d'abord du préambule du Mémoire lui-même, et ensuite du résumé suivant :

« Après ce préambule, M. Arago a rapporté les expériences qu'il faisait déjà en 1815 sur la réfraction de l'eau entre + 10 degrés et zéro ; il a indiqué les moyens d'observations qu'il mettait en usage, et qui aujourd'hui pourront être remplacés avec avantage par un pointé dirigé sur les bandes obscures de Frauenhofer ; mais, a re-

veulent bien m'aider pour l'achèvement de mes recherches photométriques. J'ai rendu hommage à leur zèle, à leur habileté, à leur désir de m'être agréables; cependant, leurs travaux et les miens n'ont pas pu être communiqués à l'Académie avec toute la promptitude désirable. Ici on a été arrêté par la difficulté de se procurer les appareils et les substances nécessaires à la réalisation des expériences; là le délai a tenu à des affaires particulières et à des travaux personnels imposés à mes collaborateurs par leurs fonctions.

J'ai donc cru devoir renoncer à mon premier plan; je ne le suivrai strictement qu'en ce qui concerne la photo-

marqué l'auteur, même par ce moyen d'observations perfectionnées, on aura peut-être de la peine à reconnaître si la loi de la réfraction croissante entre + 10 degrés et zéro éprouve un changement brusque à + 4 degrés, température du maximum de densité.

« Il faudra donc recourir à un moyen de mesurer la réfraction plus exact que l'observation des déviations angulaires. Ce moyen est tout trouvé : il suffit de faire interférer les rayons ayant traversé des tubes de même longueur et renfermant de l'eau à différentes températures. Mais comment, avec des températures dissemblables, les tubes accouplés peuvent-ils avoir la même longueur? M. Arago a mis sous les yeux de l'Académie un appareil dans lequel la condition d'égalité de longueur, quelles que soient les températures comparatives des liquides renfermés dans les tubes, se trouve complétement réalisée. Avec cet appareil, il sera facile de soumettre à une épreuve expérimentale cette idée sur laquelle Poisson fondait sa théorie des phénomènes capillaires : que les liquides n'ont pas la même densité près de leur surface extérieure et dans le voisinage des corps qui les renferment que dans leur intérieur.

« Le même moyen d'observations, l'interférence de la lumière qui a traversé deux tubes renfermant un liquide, pourrait également servir à déterminer la quantité dont ce liquide se dilate lorsqu'on le soustrait à la pression atmosphérique totale, ou à une portion quelconque de cette pression, si l'on parvenait à conserver aux tubes les mêmes longueurs relatives dans toutes les conditions de

métrie. Pour les autres travaux, je les communiquerai à l'Académie, tout inachevés qu'ils soient. Je décrirai seulement les moyens que j'avais imaginés pour résoudre les questions qu'ils soulèvent. Je mettrai même mes appareils à la disposition des jeunes observateurs à qui l'état de leurs yeux permettra d'achever ce que je ne puis continuer.

J'ai eu dès ma jeunesse l'habitude, bonne ou mauvaise, de travailler, pour ainsi parler, sur la place publique, de mettre sans réserve au courant de mes expériences des amis et même des indifférents. Il serait donc possible que, parmi les personnes qui m'écoutent, quelques-unes

l'expérience. M. Arago a montré qu'on pouvait éliminer cette cause d'erreur par un moyen très-simple dont il a donné la description.

« Les expériences déjà faites sur la réfraction du verre échauffé prêtaient à de graves difficultés, à cause de l'impossibilité qu'il y avait dans l'appareil d'abord employé à empêcher la température de ce verre de se communiquer au verre de comparaison qui devait nécessairement en être très-voisin. M. Arago a montré comment on peut se mettre à l'abri de cette cause d'incertitude.

« A la fin de sa communication M. Arago a insisté sur l'intérêt qu'il peut y avoir à reprendre les expériences comparatives qu'il avait jadis commencées sur la réfraction de l'hydrophane sèche ou rendue diaphane par l'eau, l'alcool ou d'autres liquides.

« Depuis la rédaction de cette Note, a dit M. Arago en terminant, notre confrère M. Laugier m'a proposé de compléter tout ce qui est relatif aux réfractions mesurées par des déviations angulaires, à l'aide d'un instrument qu'exécute en ce moment le célèbre artiste Brunner; je n'ai pas besoin de dire avec quel empressement j'ai accepté cette offre. D'autre part, un professeur bien connu de l'Académie par son exactitude et des Mémoires d'optique importants, M. Jamin, a bien voulu m'annoncer qu'il deviendrait volontiers mon collaborateur pour toutes les expériences dont j'ai fait mention et dans lesquelles les interférences jouent un rôle essentiel. Je puis donc, sans hésiter, annoncer à l'Académie que le cadre que j'ai tracé devant elle sera bientôt rempli. »

eussent connaissance de plusieurs des résultats que je vais énoncer. En tout cas, je ferai remarquer que je ne les ai jamais publiés moi-même, et qu'il devait bien m'être permis d'indiquer par quelle voie on pouvait les perfectionner et les faire entrer définitivement dans le domaine de la science.

Je vais, comme exemple de ces nouvelles communications, exposer à l'Académie les expériences que j'avais jadis faites pour déterminer le maximum de densité de l'eau, à l'aide de sa réfraction, et celles que j'avais conçues pour compléter et étendre ce travail.

II

MAXIMUM DE DENSITÉ DE L'EAU

L'eau, comme tous les corps de la nature, augmente de densité lorsque sa température diminue. Ainsi, ce liquide à 6° est plus dense qu'à 7°; à 5° plus qu'à 6°; à 4° plus qu'à 5°; mais, chose singulière, lorsqu'on a dépassé le terme 4°, la densité diminue avec la température; en sorte qu'à 3° elle est moindre qu'à 4°, à 2° moindre qu'à 3°, à 1° moindre qu'à 2°, et à 0° moindre qu'à 1°. L'eau a donc un maximum de densité correspondant aux environs de 4 degrés centigrades.

Depuis que cette anomalie a été constatée, les physiciens en ont fait souvent l'objet de leurs recherches, les uns pour en découvrir la cause, les autres pour déterminer, le plus exactement possible, le degré du thermomètre auquel correspond le maximum.

Dans les expériences ordinaires, le degré où l'on observe le maximum de densité est plus ou moins affecté par la valeur assignée à la dilatation du vase dans lequel le liquide est renfermé. J'avais imaginé, très-anciennement, je veux dire il y a trente-cinq ans, que je pourrais me rendre indépendant de cette cause d'incertitude, en mesurant directement, non plus la densité de l'eau, mais sa réfraction, qui, pour un petit nombre de degrés, doit évidemment augmenter avec la densité.

Je soumis cette idée à l'épreuve de l'expérience, et je trouve dans mes registres, à la date du 19 janvier 1815, des observations, desquelles il résulterait que la réfraction de l'eau, au lieu d'être à son maximum à $+ 4°$ centigrades, augmenterait jusqu'à 0°; en sorte que, en prenant la réfraction pour *criterium*, l'eau n'aurait pas de maximum de densité. Ce serait donc une singularité nouvelle ajoutée à l'anomalie déjà constatée par d'anciennes observations; peut-être trouverait-on dans l'augmentation de la réfraction de l'eau, nonobstant la diminution de densité, le moyen d'expliquer ce que cette diminution de densité présente d'extraordinaire.

On pourrait supposer, par exemple, qu'à 4° et au-dessous, une petite portion de l'eau passe à l'état de glace, ce qui suffirait pour masquer la condensation réelle du reste du liquide, et, d'un autre côté, comme la mesure de la réfraction ne porterait pas sur la portion passée à l'état de glace, il y aurait néanmoins augmentation, quant à cette réfraction, de 4° à 0°.

Pour rendre le pointé facile et suffisamment délicat, j'achromatisais le prisme d'eau avec un prisme de verre ;

mais comme, dans mes premières expériences, ce prisme de verre était en contact avec l'eau, je n'étais pas indépendant des modifications que les changements de température pouvaient apporter à sa réfraction. Dans les expériences du 19 janvier 1815, le prisme achromatisant était placé à distance du prisme d'eau, et cependant l'augmentation de réfraction resta visible entre + 4° et 0°. J'ajoute que je fis l'observation sur les trois angles du prisme, ce qui m'assurait qu'une variation dans l'angle à travers lequel j'avais ordinairement observé n'était pas la cause de l'augmentation de réfraction entre 4° et 0°.

Une expérience faite postérieurement, par voie d'interférence avec deux tubes d'égale longueur [1], dont l'un était rempli d'eau à 4° tandis que l'autre renfermait ce même liquide à 0°, conduisit au même résultat.

Que restait-il à faire pour que ces expériences pussent prendre place définitivement dans la science? C'est ce que je vais indiquer.

A l'époque où je les faisais, Frauenhofer n'avait pas publié ses observations sur les stries du spectre solaire, ou, du moins, elles étaient très-peu connues. Si l'on répète aujourd'hui mes expériences, en visant à l'une des stries de Frauenhofer, on n'aura pas besoin d'achromatiser le prisme d'eau, et les causes d'erreur qui tenaient à l'emploi de ce prisme achromatisant auront complétement disparu.

1. Voir sur l'application de la méthode des interférences à la recherche des indices de réfraction, le Mémoire suivant et la Note insérée dans le t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 418 à 426.

Un moyen d'observation qui aura presque la même exactitude et qui pourra aussi être employé, consiste à viser au spectre formé par le prisme d'eau, à travers ce verre bleu, teint par le cobalt, avec lequel on fait les rince-bouche. Ce verre a, en effet, la propriété de produire dans le spectre des solutions de continuité nettes, bien définies, et qui rendent le pointé facile.

Lorsqu'on aura les moyens de déterminer exactement la réfraction pour chaque degré du thermomètre, et ces moyens je viens de les indiquer, on saura s'il y a, dans

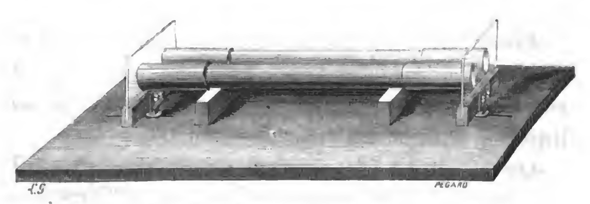


Fig. 11. — Appareil pour la mesure de la réfraction de l'eau à diverses températures par les interférences.

ces réfractions, une solution de continuité correspondant à 4°, au maximum de densité. On verra aussi comment cette loi se continue au-dessous de 0°, tant que l'eau reste liquide. Ces diverses expériences devront être répétées par la voie des interférences, toutefois après avoir disposé l'appareil de manière que les deux tubes accouplés aient exactement la même longueur, quelles que soient les températures comparatives de l'eau que ces deux tubes renferment.

On arrive à ce résultat à l'aide de l'appareil que je mets sous les yeux de l'Académie (fig. 11).

Cet appareil est ainsi formé : Deux plaques de verre sont placées verticalement et parallèlement l'une à l'autre, à la distance d'un demi-mètre, par exemple, sur une tablette horizontale en bois. Deux vis, dont les écrous sont fixés sur la même tablette, maintiennent les deux plans de verre à une distance qui restera invariable, tant que la température de la tablette en bois ne changera pas. Entre les deux plaques de verre sont interposés deux tubes métalliques destinés à renfermer de l'eau.

Les extrémités de ces tubes appuient sur les plans de verre. Supposons un moment que ces tubes soient d'une seule pièce : si la température de l'eau qu'ils renferment vient à augmenter, les tubes doivent se dilater; par suite de cette dilatation, les plans de verre seront poussés de dedans en dehors. Il arrivera alors de deux choses l'une : ou les plaques seront repoussées aussi de dedans en dehors en refoulant les vis, ou les deux tubes métalliques fléchiront et deviendront un peu courbes, de rectilignes qu'ils étaient primitivement. On préviendra l'un et l'autre de ces deux effets, en formant chacun des tubes de trois parties distinctes; deux de ces parties en contact avec les plaques de verre ont une petite longueur; dans leur intérieur joue à frottement un tube intermédiaire d'un diamètre un tant soit peu plus petit. Ce tube intermédiaire est suifé, de manière que l'espace compris entre sa surface extérieure et la surface intérieure des tubes terminaux ne donne pas passage à l'eau. Cela posé, imaginons que la température du liquide contenu dans un de ces tubes fractionnés vienne à s'élever, il est évident que les parois des deux portions extrêmes de ce tube

total, rencontrant d'un côté une forte résistance produite par la pression de la vis extérieure sur le verre, se dilateront de dehors en dedans, et que cette dilatation ne tendra pas à changer la distance des plaques. Le tube intermédiaire entrant à un frottement léger dans ces tubes extrêmes, se dilatera aussi librement, et il n'en résultera aucune pression sur les plaques de verre.

Il est à remarquer que ce moyen de mesure par les interférences est susceptible de la plus grande précision, et peut conduire à l'appréciation des différences de réfraction correspondant, si l'on veut, à des variations de température de 1 dixième de degré, et même au-dessous.

En faisant ces expériences, il faudra profiter de l'occasion pour décider si, comme le voulait Poisson dans sa théorie de la capillarité, la densité de l'eau n'est pas la même à la surface et dans l'intérieur du liquide; si elle change aussi à différentes distances des parois des vases qui la renferment.

Voici donc le programme que je propose :

Mesurer avec la lunette du théodolite ou du cercle répétiteur la réfraction de l'eau, en prenant pour point de mire l'une des bandes de Frauenhofer, ou l'une des solutions de continuité produites dans le spectre à l'aide du verre bleu de cobalt, ce verre restant le même dans toutes les expériences comparatives;

Faire, s'il est possible, ces mêmes observations sur l'eau qui reste liquide, au-dessous de 0°, lorsqu'on ne lui fait éprouver aucune vibration et qu'on la garantit par une légère couche d'huile du contact des petits glaçons flottants dans l'atmosphère;

Voir si la loi des réfractions éprouve un changement brusque, soit à 4°, soit à 0°;

Répéter les mêmes expériences par voie d'interférences, et soumettre les résultats à la même discussion.

III

RÉFRACTION DE L'EAU SOUS DIVERSES PRESSIONS

Une recherche indépendante de celle qui est relative au maximum de densité de l'eau et qui peut se faire, par voie d'interférences, avec deux tubes accouplés remplis de ce liquide, est celle de la compressibilité de l'eau. Il est certain qu'à l'aide du déplacement des franges produites par les rayons qui ont traversé le liquide contenu dans les deux tubes, on peut arriver au résultat, mais à la condition, ou que les deux tubes conserveront la même longueur, ou qu'on se rendra indépendant des changements qui peuvent résulter de cette cause. En prenant la question de ce dernier côté, voici comment on résout le problème.

Soient A et B (fig. 12, p. 308) deux tubes remplis d'eau, et ayant primordialement la même longueur, 1 mètre, abstraction faite des verres qui les bouchent; enlevons avec une machine pneumatique l'atmosphère qui pesait sur l'eau contenue dans le tube A; ce tube se raccourcira d'une petite quantité, d'un quart de millimètre, par exemple. Admettons maintenant que les deux tubes A et B soient renfermés dans une auge quadrangulaire pleine d'eau, communiquant librement avec l'atmosphère et fermée aussi par deux plans de verre; la longueur de cette auge

ne surpasse celle des tubes que de un demi-millimètre, par exemple. Lorsqu'on fait interférer les rayons qui ont traversé les deux tubes et la portion de liquide comprise entre leurs extrémités et les plans de verre qui terminent l'auge, les rayons lumineux ont traversé une épaisseur de liquide égale à la longueur totale de l'auge, c'est-à-dire 1 mètre $+\frac{1}{2}$ millimètre.

Seulement, du côté de A cette longueur se compose de 1 mètre $-\frac{1}{4}$ de millimètre d'eau soustraite à la pression atmosphérique, $+ (\frac{1}{2}+\frac{1}{4})$ millimètre d'eau à la pres-

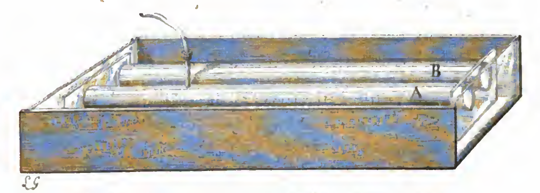


Fig. 12. — Appareil pour la mesure de la réfraction de l'eau sous diverses pressions.

sion atmosphérique; du côté de B le rayon a traversé 1 mètre $+\frac{1}{2}$ millimètre d'eau soumise à la pression atmosphérique. La comparaison porte donc sur 1 mètre $+\frac{1}{2}$ millimètre d'eau soumise à la pression atmosphérique, et 1 mètre $+\frac{1}{2}$ millimètre d'eau $-\frac{1}{4}$ de millimètre d'eau soustraite à cette pression, $+\frac{1}{4}$ de millimètre subissant la même pression.

Le résultat de l'expérience ne doit donc différer de celui qu'elle eût donné si le tube A ne s'était pas raccourci, que de la différence qu'il y a entre $\frac{1}{4}$ de millimètre d'eau pressée par l'atmosphère et $\frac{1}{4}$ de millimètre

d'eau soustraite à cette pression, ce qui ne serait que la $\frac{1}{20{,}000^e}$ partie de la quantité cherchée, et est évidemment négligeable.

IV

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA RÉFRACTION DES CORPS

Pour compléter ce qui a un rapport plus ou moins direct avec ces expériences, il sera bon d'étudier comment la réfraction se modifie par l'accumulation de la chaleur dans les corps, indépendamment des changements de densités qu'elle y produit.

En opérant jadis sur deux masses de verre de même longueur, j'acquis la conviction qu'une masse échauffée est plus réfringente que la même masse refroidie. Je ne suivis pas ces expériences aussi loin qu'il eût été nécessaire de le faire, à cause de la difficulté que j'éprouvai à soustraire la masse de verre qui me servait de terme de comparaison à l'action de la masse échauffée, qui n'en était éloignée que de 1 à 2 millimètres; mais j'ai réfléchi depuis qu'il n'était pas nécessaire au succès de l'expérience que les deux masses fussent presque en contact, et que l'une pouvait être considérablement éloignée de l'autre, pourvu que dans son déplacement, elle restât parallèle à elle-même et dans la direction du point rayonnant.

L'expérience pourra, du reste, se répéter directement sur des prismes en profitant des facilités de viser que procurent les bandes noires de Frauenhofer.

V

RÉFRACTION DE L'HYDROPHANE IMBIBÉE DE DIVERS LIQUIDES [1]

Maintenant qu'il est parfaitement établi que la réfraction que la lumière éprouve en traversant les corps n'est pas le résultat d'une attraction exercée sur les molécules lumineuses ; que cette réfraction résulte de l'état comparatif de l'éther dans les deux corps contigus à la séparation desquels la réfraction s'opère, il devient très-important de chercher quelles sont les circonstances qui peuvent modifier l'état du milieu éthéré. C'est sous ce point de vue principalement que les expériences que je vais rapporter méritent d'être répétées et suivies.

Tout le monde connaît le minéral que les naturalistes ont appelé *hydrophane*. Je suppose qu'on prenne un de ces minéraux et qu'on le taille en prisme ; son opacité n'est pas telle qu'on ne voie très-distinctement l'image prismatique des objets éloignés, surtout lorsqu'on regarde près de l'arête du prisme. Si l'on plonge ce prisme dans de l'eau, il devient d'une diaphanéité parfaite ; sa réfraction surpasse celle du prisme sec d'une quantité qu'il est facile de déterminer. Supposons maintenant que le prisme

1. Le compte rendu de la séance de l'Académie des sciences du 1er septembre 1845 contient la note suivante : « Après avoir présenté la note de M. Ebelmen (sur la production artificielle de l'hydrophane), M. Arago a rendu compte des expériences qu'il fit jadis avec des hydrophanes taillées sous forme prismatique et imbibées de différents liquides. Faute d'échantillons convenables, ce travail avait été interrompu. Grâce à M. Ebelmen, on pourra aujourd'hui le reprendre et le compléter. »

d'hydrophane soit rendu transparent par son immersion suffisamment prolongée dans de l'alcool. La réfraction de ce prisme sera naturellement supérieure à la réfraction du prisme sec; mais l'alcool réfractant plus que l'eau, il était naturel d'admettre que le prisme rendu diaphane par le premier liquide réfracterait la lumière plus que le prisme rendu diaphane par l'introduction de l'eau. C'est le contraire qui m'a paru être la vérité.

Mais les essais, ayant été faits à l'œil nu, doivent être répétés. Il faudra aussi rechercher si l'hydrophane rendue diaphane par l'eau et par l'alcool augmente de poids proportionnellement aux pesanteurs spécifiques de ces deux liquides, auquel cas on serait autorisé à admettre que ces liquides vont seulement remplir les alvéoles dont l'hydrophane sèche est parsemée, et sans aucune trace d'action chimique particulière.

J'avais une hydrophane qui se serait parfaitement prêtée à ce genre d'épreuves; mais ayant eu le désir de voir comment elle se comporterait avec l'huile de sassafras, il ne m'a pas été possible, après l'expérience, de la débarrasser de cette huile. M. Dumas avait jadis espéré la rendre à l'état primitif en la faisant bouillir dans divers liquides; mais je crois qu'il n'a pas réussi.

MÉMOIRE

SUR

LA MÉTHODE DES INTERFÉRENCES APPLIQUÉE A LA RECHERCHE DES INDICES DE RÉFRACTION [1]

I

DESCRIPTION DE DIVERS INSTRUMENTS FONDÉS SUR LA DOCTRINE DES INTERFÉRENCES, ET A L'AIDE DESQUELS ON PARVIENT A DÉTERMINER LES INDICES DE RÉFRACTION DE TOUS LES CORPS DANS DES CIRCONSTANCES OÙ LES MOYENS ORDINAIRES DE MESURE SERAIENT TOUT A FAIT INSUFFISANTS

L'état de ma vue devant m'interdire désormais toute observation de précision, j'ai pris la liberté de demander à l'Académie la permission de lui communiquer des travaux inachevés, qui seront utiles à ceux qui voudront entrer dans la même carrière.

Des circonstances récentes m'ont prouvé que je ferais bien de me hâter. Tel est le motif qui me détermine aujourd'hui à publier par moi-même la description des appareils déjà bien connus que j'ai employés pour résoudre divers problèmes qui intéressent au plus haut degré

1. Dernier Mémoire dicté par M. Arago, qui, peu de temps avant sa mort, le destinait à être communiqué à l'Académie des sciences.

l'astronomie. Sur la question spéciale des réfractions, je puis offrir à mes successeurs, non-seulement le plan des observations qui restent à faire, mais encore mettre à leur disposition les appareils tout construits dont ils auraient à se servir. Voici en quels termes je rendais compte à l'Académie, le 26 février 1816, de l'expérience sur laquelle tout mon système d'observation est fondé :

« Lorsqu'un corps opaque est placé dans un faisceau de lumière, son ombre est bordée à l'extérieur de bandes de diverses nuances et de diverses largeurs. Ces bandes ont été étudiées par Newton dans le IIIe livre de son *Optique*; mais ce célèbre physicien ne parle pas des bandes non moins remarquables qui se forment dans l'intérieur de l'ombre des corps déliés, quoique Grimaldi en eût déjà donné une description détaillée dans son ouvrage, et il affirme même positivement qu'aucune lumière ne pénètre dans l'ombre géométrique. L'inexactitude de ce résultat fut suffisamment prouvée par Maraldi et De l'Isle, qui, du reste, n'ajoutèrent rien de saillant à ce que Grimaldi avait découvert longtemps avant. Tel était l'état de nos connaissances sur cette question délicate, lorsque le docteur Thomas Young fit l'expérience très-remarquable qui se trouve consignée dans les *Transactions philosophiques* de 1803, de laquelle il résulte que pour faire disparaître la totalité des bandes qui se forment dans l'intérieur de l'ombre d'un corps, il suffit d'arrêter avec un écran opaque la portion de lumière qui vient de raser ou qui va raser seulement l'un des deux bords, et quoique les rayons qui passent près du bord opposé puissent continuer leur course comme précédemment.

« L'expérience qui fait l'objet de cette Note consiste en ceci, que pour faire disparaître également la totalité des bandes intérieures, on peut substituer un verre diaphane et à faces parallèles à l'écran opaque du physicien anglais. M. Young avait montré que la production des bandes irisées intérieures nécessite le concours de deux faisceaux blancs, infléchis dans l'ombre par les deux bords du corps. Ce que je viens de dire prouve de plus que ces faisceaux ne fournissent des bandes que lorsqu'ils se rencontrent sous certaines circonstances particulières; et ce qui semble ne laisser aucun doute sur la nature de ces circonstances, c'est qu'en employant des écrans diaphanes de plus en plus épais, on arrive par degrés au terme de la disparition. Ainsi, des lames très-minces de verre, soufflées au chalumeau, n'éteignent pas les bandes intérieures, mais les déplacent toutes de un, de deux, de trois, etc., intervalles, suivant qu'elles ont plus ou moins d'épaisseur. J'ai trouvé des lames de mica qui les transportaient sur l'espace qu'occupent les bandes extérieures ordinaires, et ceci conduit à penser que les verres épais, placés d'un seul côté du corps, ne les font disparaître qu'en les transportant dans l'espace éclairé par la lumière non infléchie. Les bandes intérieures sont, dans les circonstances ordinaires, à toutes distances, symétriquement placées de part et d'autre du centre de l'ombre. Celles qui se forment sous l'influence de la petite lame de verre sortent plus ou moins de l'ombre, suivant qu'on les reçoit plus ou moins loin du corps, et se rapprochent toujours du bord auquel la lame est adaptée. Un verre, de quelque épaisseur qu'il soit, ne nuit point à la formation des

bandes intérieures, s'il déborde le corps opaque des deux côtés, en sorte que les rayons infléchis en dedans aient eu (des deux côtés) la même épaisseur de verre à traverser. Deux verres, inégalement épais, placés des deux côtés du corps, agissent comme une lame unique d'une épaisseur égale à leur différence.

« Toutes les circonstances de cette expérience s'expliquent très-bien dans la théorie que M. Fresnel a adoptée, mais pour cela il faudrait admettre que la lumière se meut plus lentement dans le verre que dans l'air. Telle serait alors, à la vérité, la liaison des faits, qu'on pourrait facilement évaluer la perte de vitesse pour chaque épaisseur de verre, ou de tout autre milieu quelconque, en fonction d'une ondulation aérienne prise pour unité. »

La Note qu'on vient de lire fut reproduite dans les journaux scientifiques du commencement de l'année 1816. Elle fixa à cette époque l'attention des physiciens, surtout par cette circonstance qu'elle semblait impliquer la conséquence, en opposition avec le système de l'émission, que la vitesse de la lumière devait être moins rapide dans le verre que dans l'air. Quant à moi, sans être moins frappé de ce désaccord, je m'attachai, guidé par la théorie de Fresnel, à déduire de mon observation un programme d'expériences devant servir à trouver les indices de réfraction dans des circonstances où les méthodes connues auraient été sans application possible. C'est ainsi, par exemple, que j'indiquai la possibilité de déterminer l'indice de réfraction des lames de certains métaux, rendues diaphanes par les procédés si simples et si connus du batteur d'or. C'est ainsi que j'entrevis la possibilité de

comparer les indices de réfraction de l'air sec et de l'air humide, et de résoudre cette question jusque-là indécise : l'hygromètre doit-il jouer un rôle dans l'évaluation des réfractions atmosphériques?

Cette question, en ma qualité d'astronome, devait particulièrement m'intéresser. Je proposai à mon illustre ami Fresnel de se joindre à moi pour la résoudre; mon offre fut acceptée avec empressement, et je fis construire sans retard l'appareil nécessaire. Cet appareil se composait simplement de deux tubes de cuivre, d'un mètre de long, placés l'un à côté de l'autre et fermés à leurs extrémités par deux plaques de verre à très-peu près parallèles. Les bandes d'interférence se formaient ainsi par l'entrecroisement des rayons qui avaient traversé l'air des deux tubes. Nous n'avions plus, pour arriver au résultat, qu'à déterminer la place des bandes lorsque l'air était dans le même état dans chacun des tubes, et à voir si ces mêmes bandes se déplaçaient lorsque de ces deux colonnes d'air horizontales l'une était sèche et l'autre humide. Nous reconnûmes par des expériences nombreuses, que l'interposition des tubes, même quand l'air était au même état dans les deux, occasionnait un déplacement des franges égal au quart de la largeur de l'une d'elles. Ce déplacement tenait évidemment à la circonstance que les épaisseurs des verres dans les points traversés par les rayons interférents n'avaient pas exactement la même valeur. C'était une sorte d'erreur de collimation qui devait être appliquée à toutes les mesures ultérieures. Pour ces mesures l'air était desséché dans l'un des tubes à l'aide de la potasse caustique, tandis que dans le tube voisin, où

l'on avait répandu une quantité suffisante d'eau, on pouvait supposer qu'il était saturé d'humidité. L'interposition des tubes, ainsi préparés, occasionnait dans les bandes un déplacement d'une bande et demie. Si l'on retranchait de cette quantité le quart de bande tenant au défaut de parallélisme des verres qui s'opérait dans le même sens, il restait pour l'effet d'un mètre d'air humide comparé à un mètre d'air sec, une bande et un quart. D'ailleurs, ce mouvement d'une bande et un quart s'effectuait toujours dans le sens du tube renfermant la potasse caustique, ce qui, sans autre discussion, prouvait que l'air sec réfracte un tant soit peu plus que l'air humide.

Il était très-facile de déduire de cette expérience le rapport numérique de la vitesse de la lumière dans l'air sec et dans l'air saturé d'humidité, ou, ce qui revient au même, de déterminer les indices comparatifs de réfraction pour ces deux états différents de l'air. Mais ici il se présentait une difficulté que nous n'avions pas d'abord prévue et qui me parut avoir beaucoup de gravité : il était possible qu'un peu d'humidité se fût précipitée sur les faces intérieures des deux portions des plaques de verre correspondant au tube renfermant de l'eau, et conséquemment que ces portions de verre agissent dans l'expérience comme si leur épaisseur était augmentée. Dans cette hypothèse, le déplacement des bandes du côté du tube sec devait se trouver diminué. Ainsi, l'expérience prouvait que l'air sec réfractait plus que l'air humide, mais sans donner la valeur exacte de la différence.

Je maintins qu'au delà de cette conclusion l'expérience était sans valeur. Fresnel, mon collaborateur et ami,

ne partageait pas mon avis : il avait cru, d'ailleurs, reconnaître par l'absence de nuances irisées aux surfaces du verre correspondantes au tube humide, qu'aucune couche liquide n'était venue s'y déposer. Je fus frappé de la valeur de ces considérations, surtout parce qu'elles se fondaient sur des observations faites par un œil auquel rien n'échappait. Cependant, je désirai trouver un moyen plus démonstratif de résoudre la difficulté, et qui pût être mis en usage par toute sorte d'observateurs. Ce moyen était très-simple ; voici en quoi il consistait :

Je fis construire deux tubes, qui avaient l'un et l'autre non plus un mètre de long, mais seulement trois centimètres ; je les bouchai par les mêmes plaques de verre qui nous avaient servi dans la première expérience ; je versai de l'eau dans un de ces bouts de tubes, et de la potasse caustique dans le bout de tube voisin. Dans ce cas, en répétant les essais, la différence entre la réfraction d'une si courte colonne d'air sec et celle d'une colonne d'air humide devait être insensible. Le déplacement des bandes ne devait provenir que de l'humidité qui se serait déposée sur les portions des plaques de verre correspondantes aux deux bouts du tube humide. Or, en répétant l'expérience un grand nombre de fois, je ne trouvai plus aucune trace de la déviation d'une bande et un quart qu'on observait invariablement en opérant sur les tubes d'un mètre de long. Cette déviation d'une bande et un quart dépendait donc en totalité de l'action de l'air humide, et nullement d'une légère couche d'eau qui se serait déposée sur les parois intérieures du verre qui bouchait ce tube.

Nous fîmes, Fresnel et moi, les observations sur le

déplacement des bandes, occasionné par l'interposition d'une colonne d'air humide, en 1818, en nous servant de deux tubes de 2 à 3 centimètres de long.

C'est une année après que je complétai la recherche, que j'écartai totalement la difficulté qu'on aurait pu fonder sur la supposition qu'il s'était précipité une petite quantité de vapeur d'eau sur les faces intérieures des lames de verre qui bouchaient le tube renfermant de l'eau.

A cette époque, peu de physiciens accordaient quelque confiance à la théorie des ondulations : pour les amener à admettre que le déplacement d'une bande et un quart, signalé dans l'expérience précitée, prouvait que l'air humide réfractait un tant soit peu moins que l'air sec, je crus devoir me livrer à des expériences directes. Ayant fait construire deux tubes semblables à ceux de nos premières épreuves, j'établis sur chacun d'eux des tubes barométriques destinés à faire connaître quelle était la densité de l'air qu'ils contenaient.

Je trouvai ainsi qu'il suffisait d'une différence dans ces densités correspondante à 1 millimètre sur 50 pour que les bandes fussent déplacées d'une bande et un quart.

Ainsi, il suffisait d'une différence presque insensible dans les indices de réfraction de l'air renfermé dans les deux tubes, pour qu'il en résultât dans les bandes la différence qu'accusait l'expérience faite sur 1 mètre d'air humide et d'air sec.

Sans changer d'appareil, je fis plus: supposant exacte la doctrine des ondulations, je déterminai les indices de réfraction de l'air pris à différentes densités, et l'accord

des résultats avec ceux qu'on déduisait de la théorie de l'émission ébranla les plus incrédules. C'est alors que M. Laplace prononça devant un académicien ces paroles si flatteuses pour un jeune homme et qui furent immédiatement confiées à la presse : « Je ne sais pas pourquoi on parle si peu de l'expérience si curieuse de M. Arago, dans laquelle on détermine l'indice de réfraction des corps à l'aide de rayons qui n'ont pas été réfractés. »

C'est à cette même époque que je crois pouvoir faire remonter ce jugement consigné dans la cinquième édition de l'*Exposition du système du monde* (1824), et qui m'a été signalé seulement ces jours derniers : « Enfin, M. Arago, par un moyen aussi précis qu'ingénieux, s'est assuré que l'influence de l'humidité de l'air sur sa réfraction est insensible. »

Ce n'est pas seulement à l'état de vapeur diaphane que l'eau existe dans l'atmosphère ; elle y est quelquefois à l'état de vapeur vésiculaire ou à l'état de nuages, à travers lesquels les astres peuvent être aperçus et observés. Quelle est, dans ce cas, la table de réfraction dont il faut se servir ? Pour résoudre cette question, il fallait appliquer les procédés d'observation précédemment décrits à la détermination de l'indice de réfraction de l'air chargé de brouillard. Seulement, l'expérience devant alors être faite en plein air et non dans une chambre obscure où le brouillard se serait promptement dissipé, il fallut aviser au moyen de produire des bandes avec une lumière artificielle, attachée invariablement au reste de l'appareil. M. Soleil, et son gendre M. Duboscq, voulurent bien se charger de ce soin, et, après de nombreux essais, ils réussirent par-

faitement. Telle a été l'origine de l'instrument que je mets sous les yeux du lecteur (fig. 13, 14, 15, 16, 17 et 18[1]). Le moyen expérimental est d'ailleurs très-simple : il a consisté à faire interférer les rayons qui passaient à travers le tube débarrassé du brouillard, à l'aide d'un sel

1. Cet instrument, tel que MM. Soleil et Duboscq l'ont construit pour M. Arago, a été représenté au commencement de 1854 par M. l'abbé Moigno dans le journal le *Cosmos*. En voici une description et des dessins plus complets.

La figure 13 (p. 322) est une coupe théorique faite horizontalement suivant l'axe de l'instrument.

La figure 14 (p. 322) donne un plan géométral de l'appareil.

Enfin la figure 15 (p. 323) représente l'ensemble de l'appareil, vu en perspective. L'instrument est placé sur un banc de bois, où il est solidement fixé.

Il faut distinguer dans l'appareil quatre parties : 1° la portion éclairante ; 2° la portion tubulaire; 3° la portion interférente, c'est-à-dire la portion où les interférences se produisent et sont mesurées; 4° enfin la portion oculaire où l'œil est placé et voit le phénomène.

1° *Partie éclairante.* L' (fig. 14 et 15) est une lampe modérateur bien allumée portée par une console et maintenue à une hauteur telle que le centre de la mèche corresponde au centre de l'appareil; le verre est recouvert par une enveloppe demi-cylindrique en tôle mince argentée à l'intérieur, pour renvoyer avec plus d'intensité les rayons lumineux.

F (fig. 13, 14, 15 et 16) est une fente longitudinale et verticale à la fois, à ouverture mobile, qu'on peut élargir ou rétrécir à volonté, en faisant tourner le bouton z, dans un sens ou dans l'autre; que l'on peut aussi faire pivoter sur son axe et incliner à droite et à gauche, de manière à la bien centrer, en agissant sur le bouton r, en communication avec elle par la tige horizontale gg' (fig. 14 et 15). La fente est au foyer de la lentille L (fig. 13, 14, 15), et, par conséquent, les rayons émis par la fente et qui ont traversé la lentille, sont rendus parallèles; la lentille L fait ainsi fonction de collimateur et les rayons qui doivent plus tard interférer peuvent être considérés comme venant de l'infini.

2° *Portion tubulaire.* Elle est supposée constituée par deux tubes fermés, juxtaposés ; mais dans presque toutes les expériences on peut se dispenser de l'un des deux tubes, que l'on remplace par un

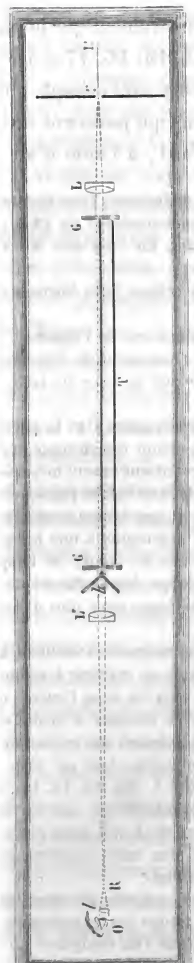


Fig. 13. — Coupe horizontale théorique de l'appareil à interférences de M. Arago pour la mesure des réfractions.

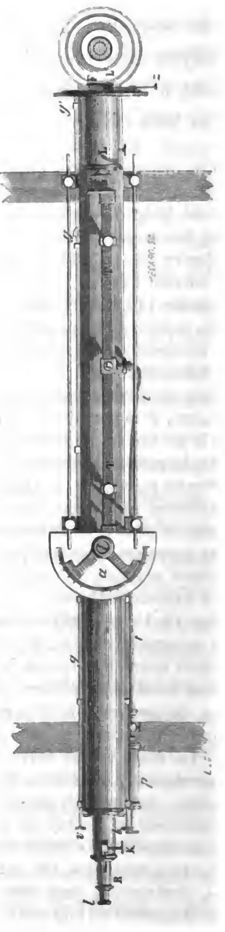


Fig. 14. — Plan de l'appareil à interférences de M. Arago.

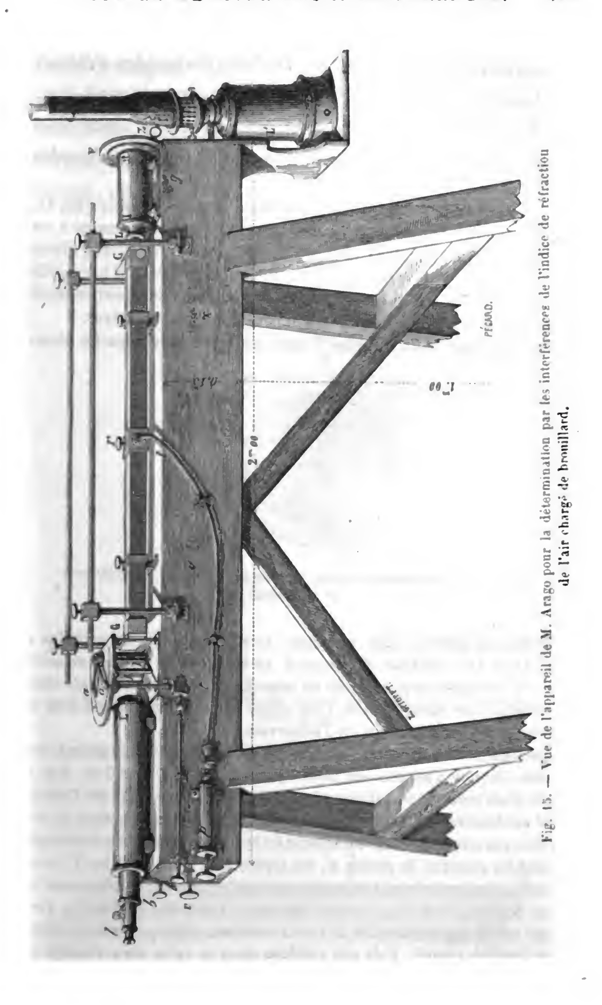


Fig. 15. — Vue de l'appareil de M. Arago pour la détermination par les interférences de l'indice de réfraction de l'air chargé de brouillard.

siccatif, avec les rayons qui avaient traversé le brouillard atmosphérique, et de voir de combien les bandes s'étaient déplacées, et dans quel sens le déplacement avait lieu. M. Laugier, qui a bien voulu me remplacer dans cette observation, m'a annoncé que le déplacement des bandes

espace accessible à l'air. On ne voit donc dans les dessins (fig. 13, 14, 15) que le seul tube en cuivre quadrangulaire T, terminé à ses deux extrémités par deux glaces à faces parallèles G, G. Ces glaces se prolongent au delà des parois du tube T dans l'espace accessible à l'air qui remplace le second tube, afin que tout soit parfaitement symétrique sur le passage des rayons qui doivent interférer.

On a ménagé dans le tube T une ouverture sur laquelle s'em-

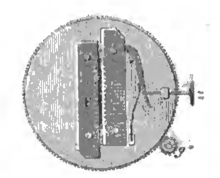


Fig. 16. — Introduction du faisceau lumineux dans l'appareil à interférences de M. Arago.

bouche, au moyen d'un manchon serré par la vis de pression r (fig. 14 et 15), un tube de plomb t. Ce tube est en communication avec la pompe à air p, à l'aide de laquelle on peut faire le vide dans le conduit t et dans le tube T en tirant et refoulant tour à tour le piston placé sous la main de l'observateur.

La figure 17 représente une sorte de bouteille ou flacon F' au goulot duquel s'adapte un tube de caoutchouc t' que l'on fixe à l'aide d'un manchon et d'une vis de pression r' très-près de l'extrémité antérieure G du tube T. Ce flacon a pour fond une plaque mince en bois poreux S, pressée fortement à vis contre un rebord intérieur. Quand en retirant le piston p, on aspire l'air dans le tube T, pour y faire momentanément le vide, cet air est forcé de traverser la lame de bois, et si l'on a placé sur cette lame des fragments d'un corps solide vaporisable, ou si l'on a versé sur elle quelques gouttes d'un liquide volatil, l'air qui pénètre dans le tube sera chargé de

s'opérait toujours dans le sens du brouillard, et qu'ordinairement il ne s'élevait qu'à trois ou quatre bandes. Il résulte de cette expérience que l'air chargé de brouillard réfracte un tant soit peu plus que l'air sec, ce qui, assurément, eu égard à la petitesse de l'excès, n'aurait pas

vapeurs, tandis que l'air en dehors du tube restera pur. On pourra donc, de cette manière, étudier l'action des vapeurs produites sur le rayon lumineux.

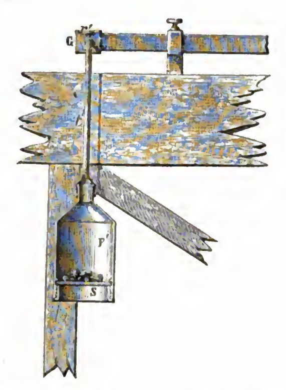


Fig. 17. — Moyen d'introduire des vapeurs dans l'appareil à interférences de M. Arago.

Enfin la figure 18 représente deux tubes carrés α, α', ouverts à

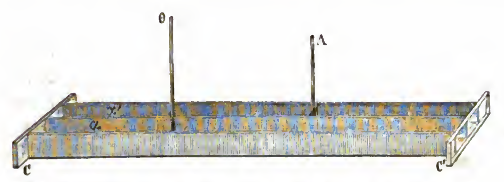


Fig. 18. — Tubes destinés à être placés dans l'appareil de M. Arago pour la détermination de l'indice de réfraction des liquides.

été prévu *à priori*. En admettant, en effet, que les rayons traversassent dans l'étendue d'un mètre les pellicules liquides formant l'enveloppe extérieure des vapeurs vésiculaires, ils devaient être considérablement retardés ; et dans le cas où l'on supposait qu'ils arrivaient au point

leur partie supérieure; on les substitue au tube T lorsqu'on veut comparer le pouvoir réfringent de l'eau ou d'un liquide quelconque à la température ambiante, au pouvoir réfringent de ce même liquide après qu'on a abaissé ou élevé sa température ou qu'on l'a mélangé de tel ou tel autre liquide. Les ouvertures permettent d'introduire dans le liquide soit un agitateur A pour le mélanger et l'amener partout à la même densité et à la même température, soit un thermomètre θ pour déterminer cette température uniforme. Les deux tubes sont également fermés à leurs extrémités par deux glaces parallèles C, C'.

3° *Portion interférente*. En avant et très-près de la glace de gauche G (fig. 14 et 15), en face de la ligne de séparation verticale des deux tubes ou de la cloison tout à fait rectiligne qui sépare la portion fermée de la portion ouverte, se dresse un obstacle formé d'un prisme triangulaire représenté dans la figure 15. L'arête verticale de ce prisme est située du côté de la lumière; son hypoténuse a 2 millimètres de longueur. A droite et à gauche de cette base se trouvent deux ouvertures ou espaces rectangulaires d'un millimètre de largeur. Le faisceau lumineux venu de la fente F et rendu parallèle par la lentille L est partagé en deux faisceaux aussi parallèles : l'un pénètre dans le tube T et sort par une des ouvertures taillée d'un côté de l'arête ou biseau de l'obstacle; l'autre est rejeté dans la seconde ouverture par le même obstacle. Le premier faisceau passe donc dans le tube T vide ou rempli de vapeur ou occupé par le milieu dont on veut étudier le pouvoir réfringent; le second faisceau passe dans l'espace libre ou rempli d'air. Par suite de la différence des milieux qu'ils ont traversés, des actions diverses qu'ils ont subies, de leur inégalité de marche, en un mot, ces deux faisceaux donneront naissance, au delà de l'obstacle, à des bandes d'interférence dont la position déviée permettra d'estimer *à posteriori* la différence de marche et par suite les actions subies.

Derrière et très-près des ouvertures se trouvent deux larges glaces minces *h* (fig. 15) à faces parallèles et maintenues verticales; ces

d'interférence, en passant entre les molécules, sans en traverser aucune, ils devaient éprouver le même effet qu'en se propageant à travers l'air humide de l'expérience précédente.

Ceci une fois établi, on conçoit aisément comment le

glaces sont montées dans deux châssis verticaux qui les embrassent en laissant libres toutefois les deux bords verticaux intérieurs. Ceux-ci sont aussi rapprochés que possible l'un de l'autre, afin que les faisceaux lumineux passent en entier à travers les glaces ; les deux châssis sont reliés en haut par un axe vertical commun autour duquel ils peuvent tourner. Pour produire ce mouvement de rotation on a fixé aux bords supérieurs horizontaux des châssis qui portent les glaces deux secteurs circulaires horizontaux, de 60 degrés environ; ces secteurs engrènent avec deux pignons placés au sommet de deux axes verticaux. Ces axes portent en bas deux roues d'angle horizontales qui engrènent avec deux autres roues d'angle verticales liées aux deux tringles *d* et à deux boutons *bb* (fig. 14 et 15). On voit très-bien dans la figure 15 qu'en faisant mouvoir chacun des boutons *b*, on fait tourner l'axe vertical correspondant et avec cet axe le secteur denté qu'il porte, et avec le secteur la glace, qui décrit un angle autour de son arête restée fixe. Pour pouvoir mesurer cet angle on a établi horizontalement au-dessus des deux secteurs dentés un demi-cercle divisé muni de deux alidades avec vernier *a*. Le centre du cercle divisé et les centres de rotation des alidades sont situés sur l'axe vertical commun des deux châssis; celles-ci font comme corps avec les bords horizontaux supérieurs des deux glaces. Les alidades tournent par conséquent en même temps que les glaces et décrivent les mêmes angles qu'elles, angles exprimés par le nombre de divisions comprises entre les zéros des verniers des alidades et les zéros du cercle divisé. Quand le zéro de l'alidade coïncide avec le zéro du cercle divisé, la glace est perpendiculaire au rayon lumineux, et la longueur parcourue par lui dans la glace est au minimum ; cette longueur croît de plus en plus à mesure que la glace tourne ou est plus inclinée sur la direction du rayon ; elle croît en raison inverse du cosinus de l'angle de rotation de la glace.

L'ensemble des deux lames que nous venons de décrire fait dans l'appareil l'office de compensateur, en ce sens que si l'un des faisceaux, en passant dans un milieu moins dense ou moins réfringent,

Soleil ou une étoile, vus à travers les nuages, paraissent à la même hauteur que si le ciel avait été parfaitement serein. Cette identité de hauteur résulte en point de fait d'observations que j'entrepris dès l'année 1809, et qui furent communiquées au Bureau des Longitudes par Laplace, à la demande duquel elles avaient été faites.

a parcouru un chemin moindre, ce qui a eu pour effet de déplacer les franges d'interférence du côté du milieu plus dense ou plus réfringent, on peut, en inclinant la glace placée sur le trajet du premier faisceau, lui faire parcourir dans cette glace un chemin plus grand et compenser ainsi la différence de marche ou rendre les chemins parcourus égaux, ce qui ramène les franges déplacées au centre de l'appareil. Par la combinaison des mouvements de rotation ou des inclinaisons successives des glaces, on arrive aussi très-simplement à estimer le déplacement des franges, soit par la détermination du nombre des franges rejetées du côté du milieu plus réfringent, soit par la mesure directe de l'espace parcouru par la frange centrale.

Au lieu d'une glace dressée sur le trajet de chaque faisceau, on peut placer de chaque côté une couple de glaces, dans le but d'obtenir que les rayons qui interfèrent suivent exactement, après leur passage à travers les glaces, la même ligne droite qu'ils suivaient auparavant : pour cela, les deux glaces de chaque couple tournent en même temps mais en sens contraire, l'une en avant, l'autre en arrière, d'angles rigoureusement égaux.

4° *Portion oculaire.* Cette partie de l'instrument se compose (fig. 14 et 15) d'une lunette formée d'une lentille L″ faisant fonction d'objectif et d'une lentille oculaire *l*. Entre l'objectif et l'oculaire, on a installé une aiguille ou fil micrométrique parfaitement vertical et servant de point de repère, en ce sens que l'on fait toujours coïncider avec le fil la frange lumineuse centrale, blanc entre deux noirs, pour estimer ses déplacements. L'observateur met au point le tube *l*R (fig. 14) à l'aide du moyen indiqué par la figure 16, qui représente la vue antérieure de l'extrémité de ce tube. Il se sert, à cet effet, de la tige *gg′*, munie de charnières universelles commandant le pignon *x* (fig. 15) ; en faisant tourner dans un sens ou dans l'autre le bouton *v*, il dirige la fente F à droite ou à gauche jusqu'à ce que les franges d'interférence soient très-nettes et très-distinctes.

L'illustre géomètre cita, entre autres, les observations du Soleil, faites à travers des brouillards ou des nuages assez épais, le 11-12 novembre et le 22 décembre 1809.

II

REMARQUES HISTORIQUES SUR LA DÉTERMINATION DES INDICES DE RÉFRACTION DE L'AIR HUMIDE ET DE L'AIR CHARGÉ DE BROUILLARD

J'ai été très-surpris de trouver dans l'édition du *Traité d'astronomie* publiée par sir John Herschel en 1849, la phrase suivante : « D'ailleurs, le pouvoir réfringent de l'air est sensiblement affecté par son humidité. »

Cette décision est en contradiction manifeste avec le résultat que nous avions obtenu longtemps auparavant, Fresnel et moi, et qui a été publié en 1822, dans un Supplément à la Chimie de Thomson [1].

J'ai été curieux de rechercher sur quelles expériences se fondait le célèbre astronome anglais; car je ne puis supposer qu'il se soit décidé à la légère à se mettre en opposition avec un expérimentateur du mérite de Fresnel. Voici ce que j'ai trouvé de plus précis à ce sujet.

En 1796, M. Huddart conjecturait que les phénomènes de mirage qu'il avait observés sur la mer dépendaient d'une diminution de densité ou de puissance réfractive dans les couches inférieures de l'atmosphère. Cette diminution était, suivant lui, le résultat nécessaire de l'évaporation. Mais comment la vapeur d'eau altérait-elle la den-

1. Voir l'Appendice qui termine ce volume.

sité ou la puissance réfringente de l'air sec? M. Huddart n'essayait pas de le décider; son Mémoire ne renfermait d'ailleurs aucune mesure, aucune observation du thermomètre ou de l'hygromètre, faite dans les couches où naissait la trajectoire qui produisait l'image renversée. Nous savons aujourd'hui que ces images renversées, que les phénomènes généraux du mirage, sont des effets de la haute température, et dès lors de la faible densité des couches d'air qui reposent sur un sol nu et très-absorbant. Les conjectures de M. Huddart étaient donc sans valeur scientifique.

Dans les écrits de Monge, relatifs aux phénomènes de mirage observés en Égypte, on trouve le passage suivant :

« L'élévation de température n'est pas la seule cause qui, sous une pression constante, puisse dilater la couche inférieure de l'atmosphère. En effet, l'air a la faculté de dissoudre l'eau, et même d'atteindre le point de saturation sans perdre sa transparence; et Saussure a fait voir que la pesanteur spécifique de l'air décroît à mesure qu'il tient une plus grande quantité d'eau en dissolution. Lors donc que le vent qui souffle en mer apporte un air qui n'est pas saturé d'eau, la couche inférieure de l'atmosphère qui est en contact avec la surface de la mer dissout de l'eau nouvelle et se dilate. Cette cause, jointe à la légère augmentation de température, peut enfin amener les circonstances favorables au mirage et produire, en effet, celui que les marins observent assez fréquemment. »

Il fallait être bien hardi pour déduire de ces vagues raisonnements la conséquence consignée dans la *Décade*

égyptienne, que dans certaines circonstances l'humidité de l'air diminue sa force réfringente.

Wollaston fit, le 9 septembre 1801, une observation qui paraissait être d'accord avec l'opinion gratuite de Huddart et de Monge; mais dans aucune autre occasion cette conclusion ne lui parut se confirmer. (*Transactions philosophiques*, 1803.)

Vinrent ensuite en 1806, les observations directes que j'entrepris en collaboration avec M. Biot [1], mais qui ne firent ressortir aucune différence sensible entre la puissance réfractive de l'air sec et celle de l'air humide.

Pour compléter cette énumération, je dois citer un calcul de Laplace, inséré dans le IVe volume de la *Mécanique céleste* [2]. A défaut de mesures directes, cet illustre géomètre supposa que ce qu'on appelle le pouvoir réfringent était le même pour l'eau et pour sa vapeur, et il déduisit de cette hypothèse l'augmentation de la réfraction de l'air humide comparée à celle de l'air sec. Mais la supposition d'un égal pouvoir réfringent d'un liquide et de la vapeur qui en émane n'est nullement conforme aux observations, ainsi que nous l'avons prouvé M. Petit et moi, dans un Mémoire qui fut lu à l'Académie des sciences le 11 décembre 1815 [3].

Ainsi, aucune expérience à moi connue ne justifie l'assertion de sir John Herschel. Il me semble, mon illustre confrère me permettra de le lui dire, que plus on occupe un rang incontesté et incontestable, plus on

1. Voir l'Appendice qui termine ce volume.
2. P. 274.
3. Voir p. 123 à 131 de ce volume.

devrait se garder de jeter inconsidérément dans la science des assertions hasardées.

Mes expériences d'interférences accusent bien une différence entre les pouvoirs réfringents de l'air sec et de l'air humide, mais la méthode si délicate, si sensible, que j'ai imaginée prouve que cette différence doit être négligée dans le calcul des réfractions astronomiques.

Le monde savant a été tenu à plusieurs reprises au courant de mes recherches sur ce sujet, et à la date du 5 février 1840 le procès-verbal de la séance du Bureau des Longitudes contient encore la note suivante :

« M. Arago parle de son expérience relative à la détermination de la différence de réfraction entre l'air sec et l'air humide. Les franges marchent du côté de l'air sec. L'air humide est donc le moins réfringent. Mais il y avait une difficulté : il pouvait se déposer de l'eau sur les glaces qui ferment les tubes. On s'est assuré qu'il n'y avait eu aucune influence de ce genre parce que des tubes très-courts ne donnent aucun déplacement mesurable. »

J'arrive maintenant aux observations ci-dessus rapportées sur l'indice de réfraction de l'air chargé de brouillard et de nuages.

Une recherche semblable à celle que j'ai faite a été entreprise avec le même résultat par M. Peters, à Poulkowa. C'est à cet astronome éminent qu'on a pris l'habitude d'attribuer la découverte du fait expérimental, si découverte il y a. On peut voir à ce sujet, par exemple, le discours prononcé par M. Adams, président de la Société astronomique de Londres, à l'occasion de la

médaille si justement accordée par cette société à l'astronome russe. M. Adams s'exprime ainsi : « Il y a encore, dans le Mémoire de M. Peters, d'autres discussions sur plusieurs points curieux de la science, tels que l'effet des nuages sur la réfraction, » etc. (Discours de M. Adams, page 121 des *Procès-verbaux de la Société astronomique.*)

Je n'aurais rien à dire contre l'oubli de mon nom dans cette citation, si le fait en question n'avait pas été publié, s'il n'avait été révélé qu'aux membres du Bureau des Longitudes depuis plus de quarante ans; mais je puis m'appuyer sur une publication de 1838. Dans l'*Annuaire* de cette année (Notice sur le tonnerre) on trouve en effet ce passage [1] :

« Les zigzags des éclairs ont toujours paru si étonnants, qu'on a été jusqu'à les regarder comme de pures illusions, comme le résultat de réfractions irrégulières que les vapeurs atmosphériques, que les nuages feraient éprouver aux rayons de lumière (Logan, *Transactions philosophiques*, vol. XXXIX).

« Les astronomes qui, si souvent, ont l'occasion d'observer les astres à travers les vapeurs et les nuages, sans les trouver autrement soulevés que si l'atmosphère était sereine, ne pourraient pas même se résoudre à réfuter sérieusement l'étrange conception de M. Logan. »

Au reste, la difficulté, dans la question que nous venons de poser, consistait à expliquer comment des nuages à forme prismatique, comment des nuages où la face

1. Voir t. IV des *Œuvres*, t. Ier des *Notices scientifiques*, p. 218.

d'entrée et celle de sortie des rayons venant des astres étaient inclinées fortement l'une à l'autre, transmettaient ces rayons sans les dévier.

Cette difficulté, je la levai à l'aide des expériences dont j'ai rendu compte dans ce Mémoire.

APPENDICE

[La première partie de ce volume renferme tous les Mémoires que M. Arago a laissés sur l'optique. Sur ces dix-sept Mémoires, quatre seulement ont été publiés du vivant de l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, qui avait toutefois eu soin de prendre date de chacune de ses découvertes par des notes sommaires insérées dans divers recueils. Toutes ces notes sont réunies dans cet Appendice, qui contient en outre le dépouillement et la réduction de plusieurs milliers d'expériences inédites faites par M. Arago sur la polarisation et la réfraction, des fragments manuscrits relatifs à plusieurs phénomènes d'optique, des rapports faits à l'Académie sur ce même sujet, des éclaircissements et des critiques sur différentes parties de la théorie de la lumière.]

I

NOTES SUR QUELQUES PHÉNOMÈNES D'OPTIQUE RELATIVES AU MÉMOIRE SUR LES COULEURS DES LAMES MINCES, DU 18 FÉVRIER 1811, A CELUI SUR LA POLARISATION COLORÉE, DU 11 AOUT 1811, ENFIN A CELUI SUR PLUSIEURS NOUVEAUX PHÉNOMÈNES D'OPTIQUE, DU 14 DÉCEMBRE 1812 [1]

J'examine à l'aide d'un prisme achromatique de spath calcaire, et sous l'angle de 35° environ, les anneaux colorés qui entourent le point de contact de deux lentilles

1. Voir p. 1 à 31, 36 à 74, et 85 à 97 de ce volume. — Ces Notes sont inédites.

superposées. Je tourne le prisme jusqu'à ce qu'une seule série d'anneaux soit visible. J'interpose entre les lentilles et le prisme un fragment de cristal de roche à faces parallèles et taillé de plus perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre; on voit alors les deux séries d'anneaux, quelle que soit la position du cristal, pourvu que les rayons réfléchis rencontrent ses faces perpendiculairement.

A l'œil nu ou à l'aide du spath calcaire, je n'aperçois que six anneaux distincts. Lorsqu'on interpose le cristal de roche avec les conditions énoncées ci-dessus, ces mêmes six anneaux se voient également dans chaque suite, mais ils sont entourés alors d'une série d'anneaux de moindre largeur et qui ont même centre que les premiers. Ces nouveaux anneaux sont contigus aux autres, lorsque les faces du cristal interposé sont perpendiculaires aux rayons réfléchis. Mais si l'on change cette inclinaison, on voit les nouveaux anneaux augmenter de diamètre, diminuer de largeur, et finir enfin par disparaître, lorsque l'angle des rayons réfléchis et des faces du cristal est assez aigu.

A l'œil nu, l'interposition de la plaque de cristal de roche ne contribue aucunement à augmenter le nombre des anneaux visibles.

Lorsqu'on fait faire de petites oscillations à la plaque de cristal de roche autour de la position perpendiculaire, on voit, comme nous l'avons dit plus haut, la série supplémentaire d'anneaux augmenter de grandeur (dans tous les sens). Les anneaux contigus se resserrent et finissent enfin par disparaître entièrement; mais il est

remarquable qu'ils ne disparaissent que par parties. Si, par exemple, le mouvement donné au cristal à partir de sa première position est dirigé de l'est à l'ouest, en sorte que l'angle occidental des rayons réfléchis et de la face du cristal devienne aigu, ce sera la portion occidentale de la série supplémentaire d'anneaux qui disparaîtra la première. Le contraire serait arrivé si le mouvement de la plaque avait d'abord été dirigé de l'ouest à l'est, etc.

On remarquera également que la partie des anneaux qui doit disparaître la première est celle qui se déplace d'abord et qui se meut le plus promptement lorsque l'on commence à écarter le cristal de la position primitive.

Lorsque les faces du cristal interposé sont perpendiculaires aux rayons réfléchis, la série d'anneaux supplémentaires suit immédiatement la série principale; mais cette dernière série ne changeant pas de place par le mouvement du cristal, il en résulte que dans l'instant de la disparition de la suite supplémentaire, les anneaux dont elle est formée sont séparés des anneaux principaux par un espace entièrement incolore.

Si, en partant de la position où les rayons des anneaux réfléchis rencontrent perpendiculairement les faces du cristal interposé, on donne, dans tous les sens, de petits mouvements à ce cristal, on remarquera, comme je l'ai dit plus haut, que toute la série supplémentaire d'anneaux ne disparaît pas à la fois : ce sera toujours du côté où la face du cristal prolongée rencontrerait les objectifs que les anneaux supplémentaires se déplaceront d'abord et avec le plus de rapidité; la portion diamétralement opposée des anneaux sera celle que ce mouvement affec-

tera la dernière. Il résulte de là que, dans l'incidence perpendiculaire, les anneaux principaux et les anneaux secondaires ont même centre, et qu'aussitôt que le cristal s'est déplacé, cette circonstance n'a plus lieu, puisque la partie des anneaux vers laquelle le cristal s'incline s'agrandit plus tôt et plus rapidement que l'autre. La série supplémentaire, dans l'instant de la disparition, est formée, ce me semble, d'arcs conchoïdaux semblables à ceux qu'on aperçoit dans certaines directions sur la lame d'air comprise entre deux prismes juxtaposés.

Il résulte de ce que j'ai rapporté dans mes Mémoires qu'en visant, sous l'inclinaison convenable (35°), à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux et au travers d'une lame de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe, aux anneaux colorés formés autour du point de contact de deux lentilles superposées, on verra : 1° deux séries d'anneaux que nous nommerons les séries principales et qui résultent de la décomposition en deux faisceaux, dans l'intérieur du rhomboïde, des rayons lumineux polarisés qui formaient les anneaux à l'œil nu et que la plaque de cristal interposée a dépolarisés; 2° deux séries supplémentaires dont les positions et les grandeurs seront jusqu'à un certain point liées à la position du cristal interposé et qui semblent formées par les réflexions que les premiers anneaux éprouvent entre les diverses petites lames dont le cristal se compose; et 3° enfin deux séries d'anneaux produites dans l'intérieur du cristal lui-même par la lumière blanche polarisée que réfléchissent les diverses surfaces des objectifs. Ces dernières séries et les suites supplémentaires changent de

place quand on incline par rapport aux rayons les faces du cristal interposé ; les anneaux principaux, au contraire, restent toujours dans la même position. Il est bon cependant de remarquer que la plaque de cristal de roche n'ayant la propriété de dépolariser les rayons que sous des incidences peu éloignées de la perpendiculaire, on ne voit que la série d'anneaux qui est visible à l'œil nu, quoiqu'on se serve toujours du rhomboïde, si l'angle d'incidence des rayons réfléchis sur les faces du cristal interposé diffère sensiblement de 90°.

Des phénomènes entièrement analogues à ceux que je viens de décrire s'observent, quand, au lieu d'interposer entre le rhomboïde et les objectifs une plaque de cristal de roche, on emploie une lame de mica ou de sulfate de chaux. La large série d'anneaux dont j'attribue l'origine à la décomposition de la lumière blanche qui s'est réfléchie des deux surfaces des lentilles, entre les diverses lames dont le cristal est formé, est assujettie, pendant les déplacements du cristal, à des mouvements très-rapides dont il est bon d'indiquer les principales circonstances.

Lorsque la plaque interposée est perpendiculaire aux rayons réfléchis, on voit sur ses bords, à l'aide du prisme, des anneaux bien formés, au centre desquels l'œil semble correspondre. Qu'on incline la plaque vers la gauche, on voit aussitôt les anneaux se déplacer rapidement vers la droite, où ils disparaissent. Si le mouvement avait été d'abord dirigé vers la droite, on aurait vu au contraire les anneaux marcher vers la gauche et s'évanouir de ce côté ; un semblable phénomène s'observe dans quelque sens que le cristal soit déplacé.

Il résulte de tout ceci que la troisième suite d'anneaux dont il a été question précédemment (page 336), et dont le centre coïncide à peu près avec le centre de la première suite principale, lorsque le cristal interposé est perpendiculaire aux rayons réfléchis, atteint cette suite par l'un quelconque de ses bords, lorsque le cristal est dérangé dans un sens ou dans l'autre de sa première position. Pendant ces mouvements, les suites que j'ai appelées secondaires se déplacent suivant les lois que j'ai déjà indiquées, et les principales restent constamment immobiles. La disparition de ces anneaux, par l'effet du mouvement du cristal, est immédiatement suivie de la disparition de la deuxième suite principale à laquelle la dépolarisation des rayons dans l'intérieur du cristal interposé avait donné naissance. Au reste, ces diverses propriétés semblent appartenir exclusivement aux sections faites perpendiculairement à l'axe du cristal; car un fragment qui était poli dans deux sens différents ne présentait les phénomènes que je viens de décrire que lorsque les rayons le rencontraient sur les faces perpendiculaires à l'axe, quoique dans tous les cas les rayons lumineux dussent passer au travers des mêmes molécules matérielles.

Il ne sera pas difficile de déduire de ces résultats le sens de la superposition des lames dont on peut imaginer que le cristal de roche est formé, et, en général, les circonstances diverses de sa structure intérieure, circonstances d'où doit dépendre la propriété qu'a ce cristal de doubler les images lorsqu'il est taillé dans certains sens.

II

SUR LES VARIATIONS SINGULIÈRES QUE PRÉSENTENT LES ANNEAUX COLORÉS FOURNIS PAR LES VERNIS [1]

Les artistes appliquent assez généralement un vernis particulier sur les plaques de cuivre qu'ils ont travaillées. Ce mastic, dont les éléments principaux sont de l'alcool et de la gomme laque, se pose avec un pinceau sur la plaque encore chaude, et forme un enduit d'une épaisseur insensible, sur lequel on aperçoit distinctement les couleurs des anneaux. Je me suis servi, pour faire les expériences que je vais rapporter, d'un couvercle de lunette sur lequel on voyait très-nettement des anneaux colorés, dont le centre commun était le centre même du couvercle. La forme régulière des anneaux était due sans doute aux sillons circulaires que le polissoir avait formés pendant qu'on tournait la pièce et à la mince couche de vernis dont chacun de ces sillons s'était plus ou moins rempli.

Les métaux, comme on sait, réfléchissent à la fois les deux classes de rayons qu'ils polarisent en sens opposés, en sorte que lorsqu'on examine la lumière réfléchie par un miroir métallique à l'aide d'un prisme de carbonate de chaux, on voit, sous toutes les inclinaisons, deux images qui ne diffèrent pas beaucoup en intensité. Les oxydes et les sels métalliques ne réfléchissent, sous l'inclinaison convenable, que les rayons polarisés d'une seule

1. Note inédite complétant une partie du Mémoire sur les couleurs des lames minces du 18 février 1811, p. 31 à 35.

manière. Il me semblait probable, d'après cela, que la couche de vernis dont le cuivre est recouvert devait lui donner la propriété des oxydes et lui enlever celle de réfléchir à la fois les deux faisceaux lumineux polarisés en sens contraires. L'expérience m'a appris cependant que sur le cuivre vernissé, comme sur le cuivre pur, on aperçoit toujours deux images : l'une d'elles acquiert aux dépens de l'autre et dans quelques circonstances qu'il est inutile d'indiquer ici, une légère teinte d'orangé.

En regardant les anneaux sous diverses inclinaisons, on les voit passer par diverses teintes. Ceux, par exemple, qui sont verts quand les rayons tombent perpendiculairement à la surface du couvercle, deviennent d'un pourpre foncé quand on les examine très-obliquement.

Qu'on décompose la lumière dont ces anneaux sont formés à l'aide d'un prisme de carbonate de chaux et sous des incidences presque perpendiculaires, on verra, dans toutes les positions du prisme, deux séries d'anneaux qui seront à peu près également vives et dans lesquelles les couleurs se succéderont les unes aux autres dans le même ordre. A mesure que les rayons qui forment les anneaux s'incline-ront de plus en plus à la surface du couvercle, on verra l'une des deux séries s'affaiblir par degrés et disparaître même entièrement, si toutefois la section principale du prisme est perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion. Si on laisse le prisme dans une de ces deux positions et qu'on incline davantage le couvercle aux rayons de lumière, la série qui d'abord avait disparu se montrera de nouveau, mais avec cette circonstance extrêmement remarquable, que la couleur de chacun des anneaux de

la nouvelle suite sera complémentaire de celle des anneaux correspondants de la suite qui ne s'était pas évanouie. Ainsi, dans le couvercle dont je me suis servi, le premier anneau était vert dans chaque suite, quand les rayons lumineux se réfléchissaient presque perpendiculairement à la surface du couvercle; sous l'incidence où l'on ne voit qu'une seule série d'anneaux, celui que nous avions examiné d'abord est vert sale. Vu plus obliquement encore, cet anneau devient pourpre foncé, tandis que l'anneau correspondant de l'autre suite est teint de vert assez vif. Par là la série d'anneaux qui ne disparaît pas passe par les mêmes teintes qu'on lui voyait parcourir en l'examinant à l'œil nu, et l'autre suite est ou semblable à la première, ou sa complémentaire, ou invisible.

J'ai été curieux d'examiner si les couleurs qu'on aperçoit sur les assiettes de faïence dans lesquelles on a mis des acides, ne présenteraient pas un phénomène analogue à celui que je viens de décrire, d'autant mieux que ces couleurs, comme celles que présente le cuivre vernissé, changent avec l'inclinaison sous laquelle on les examine; je suis arrivé à des résultats semblables.

En étendant une couche d'huile de sassafras sur un miroir métallique, j'ai aperçu dans quelques points des couleurs semblables à celles que présentent les bulles de savon; j'ai cherché ensuite à reconnaître si ces couleurs se comportent dans le phénomène de la double réfraction comme celles qui forment les anneaux colorés ordinaires: pour cela il a suffi de les examiner, sous diverses incidences, à l'aide d'un prisme de carbonate de chaux. Or, perpendiculairement, on voit deux images entièrement

semblables, ou composées des mêmes teintes; sous l'angle de 35° environ, une des deux images disparaît; plus obliquement encore, on voit de nouveau deux images, mais elles ne sont plus semblables, car les couleurs de l'image qui vient de renaître sont complémentaires de celles que la première image avait conservées. Ces phénomènes sont analogues à ceux que présentent les couleurs du vernis que les artistes appliquent sur les plaques de cuivre poli.

Par un temps entièrement couvert, c'est-à-dire en n'éclairant un couvercle de lunette qu'avec des rayons non polarisés, on aperçoit, sous toutes les inclinaisons, des anneaux très-vifs dont les couleurs varient avec la position de l'œil, comme nous l'avons précédemment remarqué. Mais j'ai trouvé un moyen de faire changer la couleur d'un quelconque de ces anneaux, sans cesser de l'examiner sous le même angle. Il suffit pour cela de faire tomber l'ombre d'un corps sur cet anneau : s'il était vert à une forte lumière, il sera rouge dans l'ombre; et réciproquement, s'il est rouge d'abord, il passera au vert quand la partie de la plaque dans laquelle les anneaux se forment sera dans l'ombre. Cette expérience se fait très-commodément en recevant successivement sur le miroir la lumière qui passe à travers les carreaux de vitre de la fenêtre et l'ombre des barreaux[1].

1. Le changement de couleur dont il est question dans ce paragraphe s'observe très-aisément dans les anneaux qui entourent le point de contact d'une lentille de verre et d'un miroir métallique : le passage se fait toujours, comme dans le couvercle, d'une couleur déterminée à la couleur complémentaire. Si l'ombre ne tombe que sur une moitié des anneaux on remarquera, en effet, qu'un anneau

Lorsqu'on examine très-obliquement les anneaux avec le prisme de carbonate de chaux, on voit, comme nous l'avons déjà dit, deux séries teintes de couleurs complémentaires. Or, chaque série présente, toutes les circonstances restant les mêmes, le changement brusque de couleur dont nous venons de parler, quand on fait tomber l'ombre d'un corps sur la partie du couvercle où les anneaux se forment.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX COULEURS DU CUIVRE VERNISSÉ

Couleurs des anneaux dans diverses directions à l'œil nu (au coucher du Soleil).

Dans la direction du Soleil................	rouge faible.
Perpendiculairement ou vers le nord......	vert foncé.
A l'est, opposé au Soleil..................	rouge faible.
Au sud....................................	vert foncé.

Avec un prisme achromatique de carbonate de chaux.

Ouest ou vers le Soleil.......	image supérieure verte. image inférieure rouge.
Nord........................	image supérieure verte. image inférieure insensible.
Est.........................	image supérieure verte. image inférieure rouge.
Sud.........................	image supérieure verte. image inférieure insensible.

OBSERVATIONS FAITES AVEC LE COUVERCLE DE LUNETTE A L'ŒIL NU (CIEL DÉCOUVERT)

Très-obliquement.

A l'ouest ou vers le Soleil...........	vert sale tirant sur le bleu.
Au sud perpendiculairement au Soleil.	pourpre vif.
A l'est, opposé au Soleil.............	comme à l'ouest.

vert de la portion qui est dans l'ombre forme comme le prolongement de la portion d'anneau rouge du segment qui est entièrement éclairée, et réciproquement.

Sous une moins grande obliquité (30° environ).

A l'ouest...............	jaune verdâtre.
Au sud.................	disparition complète des couleurs.
A l'est.................	jaune verdâtre comme à l'ouest.

Sous une obliquité moins grande encore.

A l'ouest..............	pourpre assez vif.
Au sud.................	pourpre moins vif que dans l'autre direction.
A l'est.................	pourpre assez vif, comme à l'ouest.

OBSERVATIONS COMPARATIVES FAITES A L'AIDE D'UN PRISME DE CARBONATE DE CHAUX

Très-obliquement.

A l'ouest.........	rouge et vert.	l'image pourpre est celle qui disparaît sur deux verres.
Au sud.........	la seule image rouge est visible.	
A l'est.........	on voit à la fois les anneaux rouges et les anneaux verts, comme à l'ouest.	

Sous une moins grande obliquité.

A l'ouest.......	l'image qui disparaît sur les objectifs ne se voit pas; l'autre est jaune verdâtre, comme à l'œil nu.
Au sud.........	on ne voit point d'anneaux.
A l'est.........	comme à l'ouest.

Avec le grand couvercle de cuivre et à l'aide d'un rhomboïde de spath calcaire, on voit deux séries d'anneaux semblables, sous toutes les incidences qui précèdent celle où une des séries s'évanouit, soit que le couvercle soit immédiatement éclairé par la lumière du jour, ou qu'étant dans l'ombre d'un corps opaque, il ne

puisse recevoir d'autres rayons lumineux que ceux qui arrivent latéralement. Ainsi un anneau déterminé étant rouge à l'œil nu sera alors également rouge dans les deux séries prismatiques, lorsque le couvercle sera exposé à la lumière; mais cet anneau paraissant vert à la simple vue, quand le couvercle est dans l'ombre, fournira également deux images vertes lorsqu'on l'examinera avec le rhomboïde de carbonate de chaux. Sous l'incidence de 35° environ, on ne voit, soit à la lumière, soit dans l'ombre, qu'une seule série d'anneaux. Dans l'un des cas, la couleur est complémentaire de celle qu'on voit dans l'autre.

Sous des incidences moindres, les couleurs des deux suites sont, comme je l'ai déjà dit précédemment, complémentaires, en sorte qu'un anneau d'une des suites étant rouge, l'anneau correspondant de l'autre suite sera vert, et réciproquement. Au reste, et cette circonstance est bien digne de remarque, si, sans rien changer aux positions respectives de l'œil, du couvercle et du rhomboïde, on fait tomber l'ombre d'un corps opaque sur les anneaux, on verra les couleurs des deux suites changer subitement : l'anneau d'une des suites étant rouge et le correspondant vert à une forte lumière, le rouge passera au vert et le vert au rouge lorsque le couvercle sera dans l'ombre.

III

ÉTUDE DES ANNEAUX PRODUITS PAR LE CONTACT D'UN MIROIR MÉTALLIQUE ET D'UNE LENTILLE [1]

J'ai serré à l'aide de quelques vis un miroir de verre sur un miroir métallique; le centre des anneaux qui entourent le point de contact est blanc, légèrement jaunâtre, vu perpendiculairement, tandis que vu très-obliquement, ce centre est d'une couleur tellement obscure, qu'on aurait pu le croire noir. Sous l'angle de 35° environ, la lumière dont les anneaux sont formés est polarisée par réflexion; dans le passage de la perpendicularité à l'incidence de 35°, le prisme de carbonate de chaux étant toujours dans la même position, on voit la même image s'affaiblir continuellement sans que, pendant tous ces changements, elle cesse de rester semblable à l'image principale. Quand on a dépassé l'angle de 35°, on voit deux images, comme dans les incidences moins obliques que 35°. Il y a cependant entre ces deux cas cette différence, que de 90° à 35° les deux images sont formées du même arrangement de couleurs, tandis qu'au-dessous de 35° les deux séries d'anneaux ne sont plus semblables; il faut aussi remarquer que l'image qui s'était continuellement affaiblie à mesure qu'on se rapprochait de l'angle de 35°, augmente aux dépens de l'autre quand on a dépassé cette inclinaison, et la surpasse même bientôt en intensité. Il m'a même semblé que cette première image

1. Note inédite. — Voir le Mémoire du 18 février 1811, p. 24.

disparaît entièrement, quand les rayons lumineux forment un angle très-aigu avec la surface du miroir. Si cette disparition était complète, il en résulterait qu'entre 90° et 35° la lumière des anneaux n'est polarisée par réflexion que partiellement; que la polarisation est complète sous l'incidence de 35°, et enfin, qu'à mesure que l'inclinaison diminue, quelques rayons se polarisent par réfraction, en sorte que sous une incidence très-oblique, les rayons lumineux qui forment les anneaux auraient tous reçu ce dernier genre de modification.

Les couleurs des anneaux n'étaient pas assez vives pendant que je faisais ces observations pour que j'aie pu reconnaître si, sous des incidences moindres que 35°, les couleurs des deux séries sont complémentaires; mais ce que j'ai pu noter sans incertitude, c'est que si le centre d'une suite est noirâtre, l'autre est blanchâtre, etc.

En répétant un grand nombre de fois les observations précédentes j'ai aperçu quelques particularités qui serviront à donner plus de précision aux résultats et qui par suite pourront conduire plus sûrement à l'explication de ces divers phénomènes.

Il est bien vrai, comme je l'ai dit plus haut, que depuis l'incidence perpendiculaire jusqu'à l'angle de 35°, les deux séries d'anneaux qu'on aperçoit sur un plan métallique à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux, sont entièrement semblables, à la différence près d'intensité. Passé cette inclinaison, les deux images ne se ressemblent plus : celle qui d'abord avait disparu se montre et augmente d'intensité, tandis que l'autre image s'affaiblit continuellement et de telle sorte qu'on n'en voit que

de très-faibles traces, lorsque la ligne visuelle est fortement inclinée à la surface de séparation du miroir métallique et de la lentille de verre. Les largeurs des anneaux correspondants des deux suites ne sont pas les mêmes; il m'a semblé reconnaître de plus que leurs diamètres sont inégaux.

J'avais assez fortement serré les deux miroirs pour apercevoir au centre la teinte noire qui est l'indice sûr d'un très-grand degré de rapprochement. Cette teinte s'est renforcée à mesure que je regardais plus obliquement, et s'est de plus considérablement dilatée comme les anneaux; quand j'ai examiné ces anneaux sous un angle très-aigu à l'aide d'un prisme doué de la double réfraction, la tache noire s'est inégalement répartie entre les deux images; celle qui ne disparaît point était noire au centre et entourée d'un cercle blanc, tandis que, dans l'autre suite, le centre commun des anneaux était blanchâtre et entouré d'une bande noire assez foncée. Il semble d'après cela que la première image doit être formée en grande partie par les anneaux réfléchis et que les rayons qui passent à la seconde sont ceux qui, dans deux miroirs de verre superposés, auraient produit les anneaux transmis et qui ont été renvoyés d'une manière quelconque par le plan métallique. Peut-être la nouvelle série d'anneaux, dont se compose l'autre image, est formée aux dépens de la portion de lumière incidente qui, dans son premier passage, n'a pas été décomposée par la lame mince et qui, en revenant du miroir métallique qui la réfléchit, rencontrant la lentille de verre à travers la lame mince d'air interposée, produit les anneaux transmis.

Quelquefois, au lieu de serrer la lentille de verre et le miroir métallique au point d'amener la tache noire au centre, je me suis contenté de les poser simplement l'une sur l'autre. Alors le centre commun des anneaux était de diverses couleurs suivant les inclinaisons sous lesquelles on le regardait. Or, dans ce cas comme dans l'autre, les deux images sont semblables sous toutes les inclinaisons qui précèdent la disparition d'une des suites, tandis qu'au delà les couleurs des anneaux correspondants (en grandeur) seront complémentaires.

Cette particularité se note avec une grande facilité en examinant attentivement les couleurs des centres des deux suites où le phénomène est bien tranché et indépendant de toute mesure dans le diamètre des divers anneaux.

IV

OBSERVATION DES ANNEAUX COLORÉS PRODUITS PAR LE CONTACT D'UNE LENTILLE ET D'UN PLAN DE VERRE ÉPAIS [1]

J'ai serré fortement sur un plan de verre épais la lentille qui m'avait servi dans les expériences du miroir métallique. J'ai obtenu ainsi des anneaux colorés dont le centre était noirâtre. Ces anneaux, examinés avec un prisme de carbonate de chaux, ont toujours donné deux images entièrement semblables, soit relativement à la grandeur des divers anneaux ou à l'ordre dans lequel les couleurs se succèdent. L'intensité d'une des images va toujours en s'affaiblissant de 90° à 35° environ, où elle disparaît en-

1. Note inédite.

tièrement. Passé ce terme, elle commence a se montrer de nouveau, et augmente continuellement d'intensité; enfin, sous une incidence très-oblique, cette nouvelle image me semble un peu plus brillante que celle qui ne disparaît point.

V

CHANGEMENT DE COULEUR PRODUIT DANS LES ANNEAUX COLORÉS PAR L'INTERPOSITION D'UN CORPS OPAQUE [1]

J'ai déjà indiqué succinctement la cause du changement brusque de couleur qu'occasionne dans les anneaux colorés l'interposition d'un corps opaque. Voici maintenant une observation qui me semble propre à éclaircir la question.

Si l'on place une lentille de verre sur un miroir métallique parfaitement poli, on ne verra des anneaux colorés autour du point de contact que lorsque l'œil se trouvera dans la direction des rayons lumineux que le miroir réfléchit régulièrement; mais si le miroir est légèrement rayé ou légèrement dépoli, on verra même des anneaux lorsque l'œil se trouvera dans la direction de l'ombre qu'un corps opaque projette sur les miroirs, et ces anneaux seront formés par la lumière que le miroir disperse irrégulièrement. Aussi leurs couleurs sont-elles complémentaires de celles des anneaux qu'on aperçoit à la lumière directe.

Si l'ombre du corps opaque interposé ne couvre que la moitié des anneaux, on remarque qu'un anneau rouge

1. Note inédite.

de la portion qui est éclairée par la lumière directe vient se joindre dans l'ombre avec une portion d'anneau vert qui complète son orbite, et, réciproquement, que la portion qui, dans la partie éclairée, forme comme le prolongement d'un anneau rouge de l'ombre, sera verte. Il semble que, dans ce moyen d'observation, on voit à la fois les anneaux réfléchis qui résultent de la réflexion régulière qu'éprouve la lumière sur la première surface de la lame d'air et les anneaux transmis que produisent dans leur passage à travers la lame les rayons lumineux que renvoient vers l'œil les parties rayées ou dépolies du miroir.

Mes registres d'expériences contiennent, à la date du 10 janvier 1811, l'observation suivante : « J'ai posé en avant d'une fenêtre et sur un miroir plan métallique un objectif simple et j'ai immédiatement vu une suite d'anneaux colorés concentriques. L'objectif n'appuyait sur le miroir que par son propre poids. Je n'indique ni la couleur du centre des anneaux, ni l'ordre dans lequel se succédaient les couleurs dans les anneaux eux-mêmes, puisque l'un et l'autre variaient à la fois en changeant l'inclinaison du rayon visuel. Au reste, je n'ai jamais pu apercevoir qu'une seule suite d'anneaux, quel que fût l'angle sous lequel je regardasse dans l'objectif.

« J'ai posé ensuite sur la surface supérieure de celui-ci un couteau de bois d'à peu près 27 millimètres de largeur et j'ai aperçu quatre ombres distinctes dont la noirceur était d'autant plus considérable qu'on les prenait à une plus grande distance de leur sommet; j'ai amené la première de ces ombres, ou la plus faible, sur la première suite

d'anneaux, et j'ai alors vu très-distinctement deux nouvelles suites se projeter sur les ombres suivantes; les couleurs des anneaux successifs et celles des centres étaient absolument dans le même ordre sous toutes les inclinaisons; quant aux grandeurs des anneaux, il m'a semblé que ceux de la suite principale étaient un tant soit peu plus étendus; mais comme la différence, si elle existe, doit être extrêmement petite et que je n'ai jugé de la grandeur des anneaux qu'à la simple vue, ce dernier résultat est douteux.

« A l'aide de plusieurs livres que j'ai placés latéralement sur l'objectif, j'ai augmenté sa pression sur le miroir à tel point qu'on commençait à apercevoir au centre commun des anneaux quelques vestiges de la tache noire; dans cette situation, comme dans la précédente, on voyait à l'aide des ombres du couteau, trois suites distinctes d'anneaux colorés; quelques-uns des anneaux de la seconde suite coupaient ceux de la première; la tache et les couleurs étaient dans le même ordre, et j'ai, de plus, remarqué que les défectuosités apportées dans la forme des anneaux colorés par les irrégularités du verre, se répétaient dans toutes les suites sur les anneaux correspondants.

« J'ai examiné les anneaux colorés à l'aide d'un prisme achromatique de cristal d'Islande, afin de voir si la lumière qui les forme jouit de la double réfraction; j'ai trouvé ainsi que dans les incidences qui se rapprochaient de la perpendiculaire, les deux images que formait le prisme étaient à peu près de la même intensité, quelle que fût la position de la section principale par rapport

au rayon incident. Mais, à mesure que l'inclinaison diminuait, les images provenant des réfractions ordinaire et extraordinaire étaient plus ou moins lumineuses suivant la position de la section principale par rapport au rayon incident ; enfin il y a une position unique pour laquelle ces images disparaissent successivement à chaque quart de révolution du prisme; les incidences très-obliques jouissent, à l'égard de l'intensité de lumière des deux images, des mêmes propriétés que les incidences qui se rapprochent de la perpendiculaire. »

VI

INFLUENCE DE DIVERS LIQUIDES SUR LES ANNEAUX COLORÉS [1]

J'ai placé en avant d'une fenêtre le miroir métallique et la lentille de verre; je les ai fortement serrés, afin de faire naître les anneaux. J'ai placé ensuite un prisme de cristal de roche dans la position qui correspond à la disparition d'une des suites. En mouillant le bord de la lentille, j'ai vu l'eau s'approcher successivement des anneaux et les atteindre même entièrement, ce qui occasionne le rétrécissement de leurs orbites dont il est question dans l'*Optique* de Newton. Or alors, quoique l'incidence fût toujours restée la même qu'auparavant, je voyais deux suites d'anneaux avec le prisme, tandis qu'on n'en voyait qu'une seule lorsque la décomposition des rayons avait lieu sur une lame d'air. Pour ne voir qu'une

1. Note inédite.

seule série d'anneaux sur une lame d'eau, il était nécessaire de les examiner sous un angle très-aigu.

Cette expérience a offert les mêmes résultats quand, au lieu d'eau, j'ai introduit entre les deux miroirs de l'esprit-de-vin très-rectifié.

VII

SUR LA CAUSE DES ANNEAUX COLORÉS

Dans le système des ondulations, les anneaux transmis sont formés par de la lumière deux fois réfléchie dans l'intérieur de la lame mince, tandis que les anneaux réfléchis résultent de l'entre-choc des ondes réfléchies par la première et par la seconde surface de la lame.

Soit 70° l'angle d'incidence compté à partir de la surface de la lame; 10,000 l'intensité de la lumière égale i, la première face réfléchira 250 ou $\frac{i}{40}$;

la seconde face $\frac{1}{40}\left[i\left(1-\frac{1}{40}\right)\right]=\frac{i}{40}-\frac{i}{1600}=$ 244 rayons environ.

Dans les points où deux ondes se contrarieront tout à fait, le noir sera donc presque absolu; et à côté, dans les points où les ondes vibreront d'accord, l'intensité de la lumière sera représentée par $250+244=494$.

Considérons maintenant les anneaux transmis. 244 rayons se réfléchissent à la seconde surface de la lame: ces rayons éprouvent, en rencontrant la première face, une réflexion qui en rejette $\frac{244}{40}=6.1$. Négligeant la

réflexion très-faible que ces 6.1 rayons éprouveront en passant à travers la seconde lame, nous trouverons que les anneaux transmis résultent de la rencontre de deux ondes dont l'une a pour intensité 6.1, et dont l'autre, qui a passé directement à travers deux faces, est représentée par 9,506.

Si donc on supposait, ce qui d'abord paraîtrait assez naturel, que l'intensité des couleurs dans l'une quelconque des suites d'anneaux est proportionnelle à l'intensité de la plus faible des ondes qui concourent à leur formation, les anneaux transmis sous l'incidence de 70° étant représentés par 6, les anneaux réfléchis seraient égaux à 244. Les premiers auraient donc une intensité qui serait seulement la quarantième partie de celle des premiers, ce qui n'est pas admissible.

Sous l'angle de la polarisation complète, d'après la loi de M. Brewster [1], le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté. En conséquence, un rayon lumineux qui tombe sur une plaque de spath fluor, sous l'angle de polarisation complète qui est de 54° 50′, fera avec la seconde face un angle de 35° 10′ ; sur une plaque de crown-glass, il fera 55° avec la normale à la première face, et 35° à la seconde; sur le verre d'antimoine, 64° 45′ à la première surface et 25° 15′ à la seconde ; sur le diamant 68° 2′ à la première surface et 21° 58′ à la seconde.

Il résulte de là que si les anneaux sont produits, comme on le suppose dans la théorie des ondes, par l'entre-choc

1. Voir la Notice sur la polarisation, t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 315 et 377.

des vibrations réfléchies par la première et la deuxième surface de la lame mince, ceux qui se formeront entre une plaque de crown ou de spath fluor inférieure et une lame de verre d'antimoine ou de diamant supérieure seront polarisés sous deux angles différents ; savoir :

Une première fois lorsque le rayon visuel fera avec la première surface de l'appareil un angle de 35°, puisque alors ce rayon, après sa sortie de la plaque d'antimoine, fera encore un angle de 35° avec la surface de crown-glass, cet angle étant celui de la polarisation complète sur le crown ;

Et une seconde fois, lorsque l'inclinaison du rayon visuel sera de 25°, car alors ce rayon prolongé rencontre la seconde surface du verre d'antimoine sous une inclinaison de 65°, qui est aussi à peu près celle de la polarisation complète.

VIII

COULEURS IRISÉES DE DIVERS CORPS [1]

J'ai soumis aux épreuves que j'ai précédemment décrites les couleurs qu'on aperçoit sur quelques cristaux des mines de fer de l'île d'Elbe, sur quelques facettes de plomb sulfuré, sur le cuivre pyriteux, sur l'acier recuit à différents degrés, sur le charbon de terre, etc., etc. Je vais rapporter succinctement les résultats de quelques-unes de mes expériences.

J'examine sous un angle très-aigu un fragment de

1. Note inédite relative aux pages 29 et 30 du Mémoire sur les couleurs des lames minces.

charbon de terre sur une facette duquel les couleurs sont disposées par bandes étroites et concentriques, à l'aide d'un prisme achromatique de carbonate de chaux. Je trouve que lorsque la section principale du prisme est parallèle ou perpendiculaire au plan de réflexion, les deux images sont teintes, dans leurs parties correspondantes, de couleurs complémentaires : ainsi, une partie rouge de l'image principale se trouve répétée dans la seconde image avec une teinte verte, et réciproquement une bande rouge de cette seconde image correspond à une bande verte dans la première.

Les couleurs, même sous de bien grandes obliquités, sont généralement plus vives sur la première image que sur la seconde.

Si, lorsqu'on est arrivé à une inclinaison où les deux images sont complémentaires, on donne un petit mouvement de rotation au prisme, ce qui change un peu la position de la section principale, quelques rayons de la première image passent à la seconde, et une partie proportionnelle de la lumière de la seconde passe à la première; mais comme l'intensité de la seconde image était moins grande que celle de la première, il en résulte que la lumière que celle-ci lui fournit neutralise bientôt les rayons complémentaires que la seconde conservait, et alors cette seconde image est entièrement blanche.

Passé ce terme, les deux images sont parfaitement semblables dans les diverses nuances qu'elles présentent, et, après un quart de révolution du prisme, les deux images ont changé en quelque sorte de rôle.

Les expériences que je viens de rapporter ont été faites

sous de grandes obliquités; mais si, en laissant toujours le prisme dans la même position, on examine le charbon de moins en moins obliquement, on arrive bientôt à une position où la première image seule est colorée; il y a cependant, entre cette disparition des couleurs sur la seconde image et celle que j'ai décrite dans la page précédente, cette différence que maintenant elle tient à ce que toute la lumière passe à l'image principale, tandis que, dans l'autre cas, les deux portions de lumière dont cette image était formée se correspondaient parfaitement en couleur et en quantité, et produisaient du blanc.

Les couleurs naturelles qu'on aperçoit sur quelques fragments de charbon de terre se comportant, ainsi que nous venons de le voir, dans le phénomène de la double réfraction comme celles qu'on forme sur les substances métalliques, il était naturel que je cherchasse à reconnaître si cette analogie se conserverait encore dans les anneaux formés artificiellement.

Sur un fragment de houille poli, j'ai placé une lentille de verre, ce qui a donné naissance à une série d'anneaux dont la couleur du centre variait avec la pression.

J'ai examiné ces anneaux avec un prisme de spath calcaire dont la section principale était perpendiculaire au plan de réflexion. J'ai trouvé ainsi qu'à partir de la perpendiculaire et jusqu'à une inclinaison que je n'ai pas exactement déterminée où l'une des images disparaît complétement, elles ne diffèrent l'une de l'autre que par l'intensité; qu'au-dessous de cette inclinaison on aperçoit de nouveau deux images, et qu'elles sont semblables l'une à l'autre tout aussi bien que dans les plus grandes

incidences. Il résulte de là que le charbon de terre se comporte comme le verre ordinaire, et non pas comme un miroir métallique dans le phénomène que je viens de décrire.

Si le centre des anneaux est noir, il sera noir dans les deux images sous toutes les incidences. Si le centre est blanc, il sera également blanc dans les deux suites lorsqu'on se servira comme analyseur du prisme de cristal d'Islande.

Quelques minéralogistes attribuent les couleurs qu'on aperçoit sur le charbon de terre à de très-légères couches de soufre. J'avais moi-même fait, sur un verre métallique qui avait probablement éprouvé accidentellement un commencement de fusion, des expériences qui me portaient à croire que le changement de couleur que j'ai décrit doit avoir lieu également, soit lorsqu'une substance quelconque très-mince est déposée sur un miroir métallique, soit lorsqu'une couche métallique très-mince est déposée sur un autre corps d'une nature quelconque. Si la coloration du charbon était due au soufre, c'est-à-dire si cette dernière substance se comportait dans les phénomènes dont il s'agit ici comme les métaux, on devrait apercevoir le changement de couleur dans les anneaux formés artificiellement sur un fragment quelconque de soufre.

J'ai placé une lentille de verre sur une plaque de soufre assez bien polie, ce qui a donné naissance à une série d'anneaux très-apparents. En analysant ensuite la lumière des anneaux à l'aide d'un prisme de carbonate de chaux, j'ai reconnu que les deux images sont semblables,

soit dans les incidences qui précèdent la disparition d'une des suites, soit dans les inclinaisons plus petites.

IX

NOTES HISTORIQUES SUR LES ANNEAUX COLORÉS [1]

Les ouvrages de Boyle contiennent les premières notions distinctes qu'on ait publiées sur les couleurs des corps qu'on amène à une très-grande ténuité. Cet auteur semblait avoir en vue de prouver aux chimistes, par ses expériences, que sans changer la nature des principes constituants des corps, on peut leur faire acquérir une très-grande variété de couleurs, ou les rendre incolores à volonté : il cite, à ce sujet, les bulles qu'on peut former avec toutes les huiles essentielles, avec celle de térébenthine, par exemple, avec l'esprit-de-vin rectifié et l'eau de savon. Boyle rapporte, en outre, qu'il a rencontré quelquefois des bulles de verre sur lesquelles on apercevait les mêmes couleurs, parce qu'on les avait rendues très-minces en les soufflant : il observe encore que les plumes d'une forme déterminée et un ruban noir tenus à une distance convenable entre l'œil et le Soleil présentent des couleurs très-vives. (Voyez Priestley, *Histoire de l'optique*, p. 153.)

Hooke, dans sa *Micrographia*, imprimée à Londres en 1625, donne à la page 47 des détails sur les couleurs qu'on observe dans la glace de Moscovie et autres corps minces.

1. Addition au Mémoire sur les lames minces, p. 1 à 10.

Après quelques détails sur la forme particulière du talc, Hooke observe qu'on aperçoit sur les plaques de cette substance, soit à l'œil nu, soit avec le microscope, des couleurs très-sensibles. Avec ce dernier instrument, il reconnut que les couleurs sont rangées en anneaux qui entourent une tache blanche, et que les anneaux sont circulaires ou irréguliers suivant que la tache centrale est elle-même plus ou moins bien terminée et que leurs couleurs respectives se succèdent dans le même ordre que dans l'arc-en-ciel. Ainsi, en partant de la tache du centre et en s'en éloignant, l'ordre des couleurs sera le suivant : bleu, pourpre, écarlate, jaune, vert; bleu, pourpre, écarlate, et ainsi de suite. Hooke remarque à cette occasion qu'il a quelquefois observé des arcs-en-ciel qui étaient accompagnés de plusieurs séries d'iris semblables à ceux qu'il vient de décrire. Ces iris sont inégalement vifs et inégalement larges; la différence sous ce dernier rapport est très-grande, puisque les plus rapprochés du centre sont peut-être cent fois plus larges que les autres. Hooke observe encore que les couleurs se prolongent quelquefois jusqu'au centre de la tache entière; que ce centre est alors d'une seule couleur très-vive; que les autres couleurs l'entourent à des distances de plus en plus grandes en se resserrant à mesure qu'elles se rapprochent du bord, mais en conservant toujours entre elles le même ordre que dans le deuxième arc-en-ciel. Ainsi, si le centre est bleu, le premier anneau sera pourpre, le deuxième rouge, le troisième jaune, et ainsi de suite. Si le milieu est rouge, il sera entouré de jaune, auquel succédera du vert, qui lui-même sera suivi de bleu, etc. Cet ordre se conserve

toujours, quelle que soit la couleur de la tache centrale.

En pressant une lame de talc avec le doigt, on voit les couleurs changer de place.

Si l'on divise les plaques de mica avec beaucoup de soin, on se procure des fragments assez étendus qui sont d'une seule couleur; en les examinant avec le microscope on reconnaît alors qu'ils sont d'une épaisseur uniforme. Si l'on superpose ces fragments on aperçoit des couleurs composées de celles que chacun d'eux développait séparément. Ainsi peut-être un jaune faible et un bleu peuvent produire un rouge foncé.

Si à l'aide d'une épingle ou de quelque autre instrument tranchant on écarte deux des lames dont une feuille de mica est composée et qu'on introduise au milieu quelque pellicule translucide, on aperçoit diverses lignes colorées ou arcs-en-ciel.

Si l'on superpose deux verres de lunette bien nettoyés et qu'on les presse fortement avec le pouce et l'index, on verra, lorsqu'ils seront suffisamment rapprochés, des iris et des lignes colorées, entièrement semblables à celles qu'on aperçoit sur les lames de la glace de Moscovie : ces couleurs changent de place lorsqu'on presse les objectifs plus d'un côté que de l'autre.

Un fluide transparent quelconque, interposé entre les deux objectifs, produira le même effet que l'air, avec cette différence cependant que les couleurs seront d'autant plus vives que les qualités réfractives des milieux comprimants et du milieu comprimé seront plus inégales.

Le verre soufflé au chalumeau forme quelquefois des bulles très-minces sur lesquelles on aperçoit encore les iris.

Hooke rapporte enfin à la même cause les couleurs qu'on aperçoit sur l'acier trempé, etc., etc.

Nous venons de résumer les observations de Boyle et de Hooke au sujet des couleurs qu'on aperçoit sur tous les corps minces : extrayons maintenant de l'ouvrage de Newton les résultats qui ne se trouvent pas dans les écrits de ses devanciers.

Newton ne semble pas avoir ajouté des observations bien importantes à celles de Boyle et de Hooke, mais il les a toutes exposées avec une plus grande précision.

Hooke avait vu que la couleur change avec l'épaisseur du corps. Newton ajoute que la même couleur se reproduit sur une même lame très-mince aux points où ses épaisseurs se suivent suivant la série des nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9; il détermine même, par le calcul, à quelles épaisseurs d'une lame d'air se produit, pour la première fois, toute la série des couleurs prismatiques.

Le désordre apparent que présentent les anneaux à de certaines distances de leur centre commun, tant dans leur nombre que dans la succession des couleurs, provient de ce que leurs orbites empiètent les unes sur les autres, ainsi que Newton s'en est assuré en éclairant les objectifs avec de la lumière homogène. (Hooke avait déjà remarqué que les anneaux sont d'autant plus larges que leurs diamètres sont plus grands.)

Les couleurs des anneaux, suivant Hooke, sont d'autant plus vives que les qualités réfractives des milieux comprimants et du milieu comprimé diffèrent plus les unes des autres. En confirmant cette observation, Newton ajoute que les anneaux d'une certaine couleur sont d'au-

tant plus petits, que la force réfractive du milieu interposé diffère moins de celle des milieux entre lesquels ce corps mince est compris. Newton pense même que lorsqu'un milieu quelconque est resserré entre deux verres, l'intervalle entre ces deux verres, à l'endroit où l'on aperçoit une certaine couleur, est à l'intervalle qui donne la même couleur au moyen de l'air, dans le rapport des sinus qui mesurent la réfraction au passage du même milieu dans l'air.

X

SUR LES COULEURS COMPLÉMENTAIRES

D'après la méthode du père Schœffer (*Journal de Physique*, 1785), la couleur qui résulte de l'ensemble de toutes les couleurs, moins le violet, est du jaune verdâtre ; l'absence du bleu et de l'indigo doit donner naissance à un orangé très-rapproché du rouge ; l'exclusion du rouge et d'une partie du violet donne un vert tirant sur le bleu ; en excluant le jaune on doit trouver un indigo fort près du violet ; en omettant le jaune et l'orangé, la couleur résultante se rapproche de l'indigo.

En conséquence, la couleur complémentaire

du rouge est............	le vert tirant sur le jaune,
du pourpre..............	le vert tirant sur le bleu,
du jaune................	indigo fort près du violet,
du vert.................	violet mêlé de rouge,
du bleu et de l'indigo....	orangé très-près du rouge.

Les couleurs complémentaires déduites du phénomène

des anneaux colorés sont, d'après l'*Optique* de Newton, les suivantes :

rouge..............	bleu verdâtre,
jaune...............	violet,
pourpre............	vert.

XI

SUR LES LAMES DE MICA DÉCRISTALLISÉES[1]

On trouve quelquefois des lames de mica qui paraissent être entièrement décristallisées, puisqu'en se servant de la méthode que nous avons décrite, on n'aperçoit pas le moindre indice de la direction des axes, dans quelque position qu'on place la lame, pourvu que son plan reste constamment perpendiculaire au plan de réflexion. Lorsqu'on fait tourner une lame de verre autour d'un faisceau de lumière polarisée, on sait qu'à partir d'une certaine position un certain nombre de rayons sont dépolarisés à chaque quart de révolution de la plaque, que ce nombre est d'autant plus considérable que l'angle des rayons et du verre approche davantage de 35° et que lorsque cet angle est droit, la plaque ne dépolarise aucun rayon. Si l'on substitue au verre une de ces lames de mica décristallisées elle se comportera comme lui, avec cette différence cependant que la quantité de lumière dépolarisée sera beaucoup plus considérable dans ce cas-ci que dans le premier. Sous des incidences rapprochées de la perpendiculaire, le nombre des rayons dépolarisés par la plaque est tellement peu considérable qu'à peine on

1. Addition à la page 50 du Mémoire sur la polarisation colorée.

aperçoit la seconde image, tandis qu'elle est, au contraire, extrêmement visible si l'on place la lame de mica dans les mêmes circonstances. Avec le verre la seconde image est toujours plus faible que la première, mais avec le mica elle paraissait devenir de la même intensité et teinte de couleurs fort sensibles. Il semble, d'après cela, que pour qu'un corps dépolarise la lumière à chaque quart de révolution, il n'est pas nécessaire qu'il soit doué de la double réfraction, mais qu'il suffit qu'il renferme dans son intérieur une lame disposée d'une manière convenable.

XII

SUR LES COULEURS DU SULFATE DE CHAUX [1]

Qu'on place une lame assez mince de sulfate de chaux sur un corps noir, de telle sorte qu'elle réfléchisse la lumière de l'atmosphère, la surface de la lame sera sensiblement colorée; quelques parties contiguës ou peu éloignées les unes des autres présenteront des teintes différentes, mais on remarquera qu'en général ces diverses parties sont séparées par des fractures perceptibles même à l'œil nu. On apercevra aussi des couleurs par transmission, soit que la lumière incidente ait ou n'ait pas été préalablement polarisée, et ces couleurs seront toujours les complémentaires de celles que les mêmes parties de la plaque présentent par réflexion. Ces couleurs semblent donc dépendre de l'épaisseur de la plaque et être absolu-

1. Addition aux pages 50 et 51 du Mémoire sur la polarisation colorée.

ment analogues à celles dont Newton s'est occupé dans son *Traité d'Optique*, et qu'il a expliquées à l'aide de sa fameuse théorie des accès de facile réflexion et de facile transmission. Mais voici quelques circonstances qui montrent que le phénomène actuel est différent du premier sous plusieurs rapports.

Si, sans changer la position de l'œil on fait tourner la plaque de sulfate de chaux, on trouvera bientôt une position où la surface entière de la lame sera complétement incolore. Si à partir de ce point on fait faire à la plaque une révolution complète dans son plan, on trouvera par réflexion des positions qui donneront successivement :

1° le blanc, 2° le vert, 3° le rouge, 4° le blanc, 5° le rouge, 6° le vert, 7° le blanc, 8° le vert, 9° le rouge, 10° le blanc, 11° le rouge, 12° le vert, 13° le blanc, dans l'ordre que montre la figure 19.

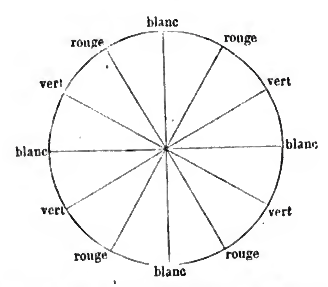


Fig. 19. — Ordre des couleurs que présente par réflexion une lame de sulfate de chaux.

A l'aide de la même plaque on voit à l'œil nu et par transmission les couleurs suivantes : gris, rouge, vert, gris, vert, rouge, gris, rouge, vert, gris, vert, rouge, gris.

On voit par là qu'avec la même lumière les couleurs transmises et réfléchies sont toujours complémentaires. Il y a, au reste, dans la même plaque des parties contiguës ou peu éloignées dont les couleurs sont différentes. Ces parties sont ordinairement séparées les unes des autres par des fractures ou par des inégalités perceptibles même à l'œil nu. Quoi qu'il en soit, les couleurs des diverses parties d'une même lame disparaissent toutes à la fois, dans les mêmes positions de la lame et à quatre reprises différentes pendant une révolution complète.

Pour ces observations j'ai toujours regardé la lame dans des positions fort obliques; car dans les incidences peu éloignées de la perpendiculaire à peine aperçoit-on quelques traces de couleurs.

XIII

DE L'ACTION DES CORPS SUR LA LUMIÈRE [1]

Les couleurs que donnent les deux images d'une lunette prismatique de Rochon devant laquelle est placée une lame de mica, étant, avec tous les miroirs métalliques que j'ai essayés, dans le même ordre qu'avec des miroirs de verre, il s'ensuit que sur les métaux, l'absorption s'exerce particulièrement aux dépens des molécules que les corps diaphanes transmettent. Malus a le premier énoncé ce résultat; mais comme il n'a pas indiqué par quels moyens il y est parvenu, je n'ai pas cru inutiles

1. Addition au passage des pages 53 et 54 du Mémoire du 11 août 1811 sur la polarisation colorée.

les détails donnés dans mon Mémoire. On voit aussi par l'expérience qui s'y trouve rapportée, que notre œil est meilleur juge d'une différence de couleur que d'une différence d'intensité, car il y avait, absolument parlant, une plus grande différence entre les deux images, quand on les observait immédiatement, que lorsque, par l'action de la lame de mica, les molécules de diverses couleurs d'où provenait cette différence ont été inégalement réparties entre les deux faisceaux.

A cette occasion j'examinerai en quelques mots une question qui regarde également le genre d'action des corps et de la lumière dans les phénomènes de la polarisation. Quoique nous soyons dans l'ignorance la plus complète sur la nature des forces qui impriment aux rayons cette étrange modification, il semble cependant qu'elles sont inhérentes à celles qui produisent la réfraction et la réflexion, puisque dans ces deux circonstances les rayons reçoivent des modifications opposées. Le seul phénomène des anneaux colorés fait exception à cette règle, puisque, sous un certain angle, les rayons qui forment les anneaux transmis sont polarisés comme s'ils avaient été réfléchis.

Il est vrai que depuis que Malus a publié ses beaux résultats sur les rayons polarisés par réfraction, on a cherché à ramener ce fait au cas général en supposant que la disparition d'une des images est uniquement occasionnée par un changement dans l'éclat du fond sur lequel elle se projette, mais il est facile de voir que cette opinion n'est pas fondée, car il en résulterait que si l'on employait, par exemple, un prisme de cristal de roche

qui ne séparât pas entièrement les deux séries d'anneaux, lorsqu'on serait arrivé à l'inclinaison sous laquelle les rayons sont polarisés, la disparition d'une des suites devrait toujours entraîner celle de la portion de l'autre qui se projetterait sur le même fond, ce qui est contraire aux observations. Mais s'il est bien démontré que les anneaux transmis, vus sous un certain angle, sont polarisés comme s'ils avaient été réfléchis, il ne sera guère possible d'expliquer cette anomalie autrement qu'en disant que les rayons qui ont formé les anneaux colorés étaient destinés à se réfléchir, et que l'action prépondérante du second objectif les a fait passer ; ce qui n'est guère satisfaisant. Il faudrait de plus admettre que les anneaux, sous une incidence quelconque, ne se forment qu'aux dépens de la lumière qui, sans la présence du second verre, se serait partiellement réfléchie.

XIV

SUR LES PHÉNOMÈNES PRÉSENTÉS PAR LES PILES DE GLACES [1]

Les expériences sur la polarisation colorée que j'ai rapportées dans mon Mémoire du 11 août 1811 ont été faites avec une plaque de cristal de roche à faces parallèles, taillée perpendiculairement à l'axe du prisme hexaèdre, ce qui peut se déduire immédiatement des phénomènes particuliers que présente la plaque lorsque des rayons déjà polarisés la rencontrent sous des angles

1. Addition au passage de la page 88 du Mémoire du 14 décembre 1812.

très-aigus. Ces phénomènes me semblent très-propres à prouver qu'il existe dans tous les cristaux des lames matérielles qui sont séparées les unes des autres par des intervalles, soit vides, soit remplis d'air ou de tout autre fluide, mais assez considérables pour que les phénomènes de la réflexion partielle doivent s'y manifester.

Supposons qu'on ait un rayon polarisé par réflexion et par rapport au plan du méridien ; nommons plan d'incidence l'angle que forme sa direction avec celle qu'il suit lorsqu'il a été réfléchi. On sait, par les belles expériences de Malus, que si l'on présente un plan de verre à ce rayon polarisé, de manière que leur inclinaison mutuelle soit de 35° environ, le miroir ne réfléchit pas une seule molécule de lumière lorsque le plan d'incidence est perpendiculaire au plan du méridien, c'est-à-dire au plan primitif de polarisation. Si le plan d'incidence est parallèle au plan du méridien, la lumière que réfléchit le miroir et celle qu'il transmet sont l'une et l'autre polarisées par rapport au plan du méridien, tandis que, lorsque le plan d'incidence a une position intermédiaire entre les deux que nous venons de citer, le miroir réfléchit toujours de la lumière polarisée par rapport au plan d'incidence et transmet en même temps des rayons dont les uns sont polarisés par rapport au plan du méridien et les autres, en moins grand nombre, par rapport au plan d'incidence. Il résulte de là que si l'on reçoit le faisceau de lumière transmise sur un rhomboïde dont la section principale soit parallèle au plan du méridien, on obtiendra deux faisceaux ; dont l'un, l'ordinaire, se composera de la totalité de la lumière transmise qui est polarisée

par rapport au plan du méridien, à laquelle s'ajoutera une partie plus ou moins considérable de la lumière polarisée par rapport au plan d'incidence; quant à la portion restante de cette dernière lumière, elle formera, comme il est évident, le faisceau extraordinaire, qui sera, par conséquent, beaucoup plus faible que l'autre.

Si le faisceau transmis à travers le premier miroir rencontre un second miroir semblablement placé, il s'y opérera une nouvelle décomposition de la lumière polarisée par rapport au plan du méridien; une portion de cette lumière conservera sa première polarisation, tandis qu'une autre portion, également transmise, se polarisera par rapport au plan d'incidence. Il résulte de là que l'effet d'un second miroir sera d'augmenter l'intensité du faisceau extraordinaire que fournit le rhomboïde dont la section principale est parallèle au plan du méridien et de diminuer celle du faisceau ordinaire. Si l'on augmente, par conséquent, d'une manière convenable, le nombre de glaces superposées, on arrivera bientôt à un terme où la portion de lumière polarisée par rapport au plan d'incidence étant considérable, elle donnera un rayon extraordinaire fort sensible dans son passage à travers un rhomboïde dont la section principale serait parallèle au plan du méridien. Au reste, la portion de lumière qui se polarise dans sa transmission par rapport au plan d'incidence est liée à celle qui se réfléchit à la première surface du miroir, en sorte que pour donner une intensité déterminée au faisceau transmis, polarisé par rapport au plan d'incidence, il est nécessaire de superposer un nombre de plaques d'autant plus considérable, qu'il se réfléchit

moins de lumière sur la surface supérieure de chacune d'elles.

XV

RAPPORT FAIT A L'ACADÉMIE DES SCIENCES AU NOM DE LA COMMISSION QUI AVAIT ÉTÉ CHARGÉE D'EXAMINER LES MÉMOIRES ENVOYÉS AU CONCOURS POUR LE PRIX DE LA DIFFRACTION [1]

L'Académie avait proposé au concours, pour le prix de physique qu'elle doit décerner dans la séance publique du mois de mars 1819, l'examen général des phénomènes de la diffraction de la lumière. Deux Mémoires seulement lui ont été adressés. Celui qui est inscrit sous le n° 2 ayant plus particulièrement fixé l'attention de vos commissaires, tant par l'exactitude des observations qu'il renferme que par la nouveauté des résultats, nous avons cru devoir en présenter une analyse détaillée.

Les physiciens qui, depuis Grimaldi, se sont occupés des phénomènes de la diffraction, recevaient la lumière infléchie sur un écran blanc plus ou moins éloigné du corps opaque ou sur un verre dépoli. Ces deux méthodes ont l'une et l'autre le défaut d'affaiblir considérablement l'éclat des couleurs et de ne point se prêter à l'étude de la formation des bandes près de leur origine. Dans un Mémoire présenté à l'Académie en 1815, et qui depuis a été inséré dans les *Annales de chimie et de physique*, t. I, M. Fresnel avait annoncé que, sans le secours d'un

1. Nous donnons ici ce rapport tel qu'il a été lu à l'Académie, dans sa séance du lundi 15 mars 1819. Les détails que M. Arago a trouvé nécessaire d'y joindre en le publiant, sont placés à la suite sous les numéros XVI, XVII, XVIII, XIX et XX.

écran, on peut, à toute distance, apercevoir les bandes avec une simple loupe, comme on aperçoit avec l'oculaire d'une lunette astronomique la peinture aérienne qui vient se former au foyer de l'objectif. En partant de cette remarque, l'auteur du Mémoire n° 2 a construit un instrument qui permet de suivre les bandes diffractées dans la lumière la plus affaiblie et de déterminer leurs largeurs à un ou deux centièmes de millimètre près : il lui a suffi pour cela d'adapter la loupe à une vis micrométrique qui la fait marcher graduellement dans un sens ou dans l'autre, et perpendiculairement à la direction des bandes; un fil délié, passant par le foyer de la loupe et qui se déplace avec elle, est le repère qu'on dirige, dans chaque expérience, sur le milieu de la partie la plus brillante ou la plus obscure de chaque frange; enfin, à l'aide d'un cadran divisé en cent parties que parcourt une aiguille fixée à la vis, on évalue les centièmes de millimètre.

Tel est l'instrument dont l'auteur[1] du Mémoire n° 2 s'est servi. Ses principales expériences ont été faites dans la lumière rouge, sensiblement homogène, que transmet une espèce particulière de verre coloré qui ne se rencontre plus que dans quelques anciens vitraux d'église; on avait ainsi la certitude d'opérer chaque jour sur des rayons de même nature et d'obtenir des résultats parfaitement comparables.

1. Lorsque, après le jugement de la commission, le président de l'Académie a ouvert le billet cacheté qui accompagnait le Mémoire, on a appris que cet auteur était M. Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées.

L'auteur s'occupe d'abord des franges successivement obscures et brillantes qui bordent extérieurement l'ombre d'un corps opaque : en les suivant jusqu'à leur origine à l'aide d'une lentille de court foyer, il aperçoit la troisième frange à une distance du bord du corps moindre que $\frac{1}{100}$ de millimètre ; il détruit par cela seul une erreur accréditée, et prouve que, pour tous les calculs relatifs à la déviation des rayons, dans le système de l'émission, il sera permis de supposer que ces rayons partent des bords mêmes des corps.

En choisissant d'abord, dans l'ensemble des observations, celles qui correspondent à une même distance du micromètre au corps opaque, on trouve qu'une simple variation dans l'éloignement du point éclairant en amène de très-sensibles dans les déviations angulaires des rayons, ou, en d'autres termes, dans les angles que les rayons directs et les rayons infléchis forment entre eux. Ainsi, le point de départ du faisceau lumineux étant, par exemple, à 100 millimètres du corps, l'angle de diffraction pour les rayons rouges de la première frange, déterminé par des mesures prises à un mètre de distance, est de 12′ 6″, tandis qu'on ne trouve que 3′ 55″ à cette même distance d'un mètre lorsqu'il y a 6 mètres entre le point lumineux et le bord du corps. On voit, en un mot, et ce résultat est très-remarquable, que chaque rayon paraît d'autant moins dévié qu'il vient de plus loin [1].

1. Voici quelques autres mesures que j'extrais du Mémoire, et qui feront également apercevoir combien l'intervalle compris entre le point éclairant et le corps opaque a d'influence sur la déviation qu'éprouve le rayon lumineux. On remarquera que la distance

Si l'on passe ensuite aux mesures prises à diverses distances du corps, celle du foyer lumineux restant toujours la même, on trouvera pour l'angle de diffraction de chaque frange en particulier des valeurs différentes, suivant qu'on l'observera plus ou moins loin du corps. De là résulte la conséquence singulière que les positions successives d'une même frange ne sont pas en ligne droite[1] : il est du reste facile de s'assurer que les courbes qui joignent ces positions, pour les franges de tous les ordres, sont des hyperboles ayant pour communs foyers le point rayonnant et le bord du corps opaque. Dans quelques-unes des expériences rapportées par l'auteur du Mémoire, la flèche de courbure était de près d'un millimètre, c'est-à-dire cinquante ou soixante fois plus grande

de ce corps au micromètre a été à très-peu près la même dans chaque expérience, et égale à 1 mètre environ.

Distance du point lumineux au corps opaque.	Distance du corps opaque au micromètre.	Intervalle compris entre le bord de l'ombre géométrique et le centre de la quatrième bande obscure.
$0^m.510$	$1^m.005$	$3^{mill}.84$
1 .011	0 .996	3 .12
2 .008	0 .999	2 .71
3 .018	1 .003	2 .56
6 .007	0 .999	2 .40

Pour expliquer ce résultat dans les idées presque généralement adoptées jusqu'ici sur les phénomènes de la diffraction, il faudrait admettre que l'action répulsive exercée par le corps opaque sur la lumière ne dépend pas seulement de la distance à laquelle passe la molécule lumineuse; mais encore que cette action s'affaiblit très-vite à mesure que le corps s'éloigne du foyer rayonnant; ce qui serait, il faut en convenir, une supposition bien étrange.

1. Le corps opaque restant toujours à $3^m.018$ du point lumineux, l'auteur du Mémoire mesura l'intervalle compris entre le bord de

que les erreurs dont les observations sont susceptibles.

Divers physiciens avaient déjà annoncé que les phénomènes de la diffraction ne dépendent point de la nature du corps que les rayons lumineux viennent raser. En confirmant ce résultat par des mesures dans lesquelles on ne remarque pas des différences d'un centième de millimètre, l'auteur du Mémoire y a ajouté cette circonstance non moins curieuse, que la forme du corps n'a également aucune influence; en sorte, par exemple, que les bandes diffractées ont précisément le même éclat et la même position, soit qu'elles aient été formées sur le dos d'un rasoir ou sur son tranchant [1].

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des franges extérieures; mais la lumière pénètre aussi dans l'ombre géométrique, l'éclaire et y forme une série de bandes obscures et brillantes. Le Dr Thomas Young, un des

son ombre géométrique et le point le plus sombre de la troisième bande obscure, d'abord à $0^{m}.0017$ de distance du corps; ensuite à $1^{m}.003$, et enfin à $3^{m}.995$. Ces intervalles se trouvèrent, dans le premier cas, de $0^{mill}.08$; dans le second de $2^{mill}.20$, et enfin de $5^{mill}.83$. Si l'on joint maintenant par une ligne droite, la première et la troisième position de la bande, on verra aisément qu'à $1^{m}.003$ du corps opaque, la ligne droite en question est distante de l'ombre géométrique de $1^{mill}.52$, tandis que l'observation nous a appris que la troisième bande en était éloignée de $0^{mill}.68$ de plus ou de $2^{mill}.20$. Le point qui, à $1^{m}.003$ du corps se trouvait sur la droite était intermédiaire entre les bandes obscures du premier et du second ordre. Voyez du reste, à la fin de ce rapport, le paragraphe XVI, où j'ai transcrit d'autres observations de M. Fresnel qui prouvent de même, à l'égard des bandes de divers ordres, que leurs positions successives, pour un éloignement donné du point lumineux, forment une ligne courbe dont la concavité est tournée vers le corps opaque.

1. Voir plus loin le paragraphe XVII.

correspondants de l'Académie, a découvert, il y a quelques années, que si l'on intercepte avec un écran un seul des deux pinceaux lumineux qui viennent toucher les bords d'un corps étroit, la totalité des bandes intérieures s'évanouit, quoique le pinceau opposé ait continué sa route et se soit en partie répandu dans l'ombre comme précédemment. De là il résulte avec évidence que les franges intérieures sont formées par la rencontre de ces deux faisceaux lumineux. M. Young démontre, au demeurant, cette influence réciproque des rayons qui se croisent sans faire intervenir dans son expérience les forces auxquelles on a l'habitude d'attribuer les phénomènes de la diffraction.

Pour cela, il introduit la lumière solaire dans une chambre obscure par deux petits trous peu éloignés. Lorsqu'on reçoit séparément chaque faisceau sur un carton, on n'aperçoit rien de remarquable; mais si les deux faisceaux y parviennent simultanément et se mêlent, leur rencontre donne naissance à une série de franges obscures et brillantes semblables aux franges intérieures. L'auteur du Mémoire présente une expérience analogue, mais d'où la même conséquence découle encore plus nettement, et qui, dans les applications, a sur celle que nous venons de rapporter l'important avantage de donner naissance à des bandes beaucoup plus vives. Il fait concourir deux faisceaux de rayons partant d'un même foyer et régulièrement réfléchis par deux miroirs métalliques légèrement inclinés entre eux et dont les surfaces sont presque sur le même plan; dès lors la portion commune des deux champs lumineux est parsemée de bandes

brillantes et obscures, également espacées et perpendiculaires à la ligne qui joint les deux images réfléchies, quelle que soit d'ailleurs la position de cette ligne relativement aux bords des miroirs.

Les longueurs des chemins parcourus par les rayons lumineux depuis leur point de départ jusqu'à celui de leur croisement déterminent l'espèce d'influence que ces rayons exercent les uns sur les autres. Si l'on reçoit les faisceaux sur un écran, on trouvera une frange brillante là où deux rayons auront parcouru précisément le même chemin : si la frange brillante voisine correspond à une différence de routes représentée par d, la troisième, la quatrième, la cinquième frange de même espèce s'observeront sur le carton dans des points pour lesquels les différences de route seront $2d$, $3d$, $4d$, etc. Quant aux bandes obscures, elles correspondront toutes à des différences comprises dans la série arithmétique $\frac{1}{2}d$, $\frac{3}{2}d$, $\frac{5}{2}d$, etc. Ajoutons que la quantité d n'est pas la même pour les rayons de différentes couleurs, et qu'elle varie dans le même rapport que la longueur des accès. Cette quantité, pour chaque espèce de rayons, est précisément le double de celle qui, d'après Newton, détermine le retour d'une molécule lumineuse au même accès de facile réflexion ou de facile transmission.

En se fondant sur les principes que nous venons d'énoncer et dont on est redevable au Dr Thomas Young, l'auteur du Mémoire examine d'abord si les franges intérieures ne seraient pas le résultat de l'influence mutuelle de deux faisceaux infléchis dans l'ombre sur les bords mêmes du corps opaque.

Dans cette hypothèse les bandes intérieures devraient toujours être également espacées; leurs largeurs varieraient, pour des distances données, en raison inverse des diamètres des corps; ces largeurs enfin seraient indépendantes de la position du point éclairant (*Annales de chimie et de physique*, t. I, p. 261). Tant que les bandes extrêmes sont suffisamment éloignées des limites de l'ombre géométrique, ces résultats s'accordent assez bien avec l'observation; dans les autres cas, on trouve quelque différence entre la position calculée de chaque bande et sa place réelle : or, ces discordances, toutes légères qu'elles sont, surpassent sensiblement les petites incertitudes que comportent les observations de l'auteur.

Quant aux bandes extérieures, si on les suppose formées, comme il paraît d'abord naturel de le faire, par la rencontre de la lumière directe et des rayons réfléchis sur le bord du corps opaque, on trouve une bande brillante là où le calcul donne une bande obscure, et réciproquement. Pour que les lois déduites de l'expérience des deux miroirs s'appliquassent au cas que nous examinons ici, il faudrait donc admettre que les rayons réfléchis obliquement sur le bord du corps opaque se comportent comme si les chemins parcourus étaient plus courts qu'ils ne le sont en effet de la moitié de la quantité que nous avons désignée précédemment par *d*.

Telle est l'hypothèse sur laquelle MM. Young et Fresnel avaient fondé l'explication des bandes extérieures; mais l'auteur du Mémoire prouve qu'elle ne suffit pas; et en effet, dans quelques circonstances qu'il indique, la place réelle de la bande est distante de la place calculée de

$\frac{17}{100}$ de millimètre, c'est-à-dire d'une quantité six ou sept fois plus grande que l'incertitude des observations. Il fait en outre remarquer, indépendamment de toute mesure, que si les franges extérieures résultaient de la rencontre de la lumière directe et des seuls rayons réfléchis sur le bord du corps opaque, l'étendue et la courbure de ce bord auraient quelque influence sur leur intensité, ce qui est, comme nous l'avons déjà dit, contraire à l'expérience, puisque le tranchant et le dos d'un rasoir forment des franges parfaitement semblables. Il faut donc admettre que des rayons qui passent à une distance sensible du corps sont écartés de leur direction primitive et concourent aussi à la production du phénomène. Ce résultat important est confirmé d'ailleurs par plusieurs autres expériences que le Mémoire renferme [1].

Comment arrive-t-il maintenant que le faisceau continu et d'une largeur sensible qui passe dans le voisinage d'un corps, au lieu de donner sur l'écran qui le reçoit une lumière uniforme, produise une série de bandes brillantes séparées par des intervalles obscurs? Les bornes dans lesquelles nous devons nous renfermer ne nous permettront pas de suivre l'auteur dans cette recherche épineuse. Nous essaierons toutefois de donner une idée nette de l'hypothèse sur laquelle se fonde l'intégrale qu'il présente comme l'expression générale de tous les phénomènes de la diffraction.

L'auteur conçoit sur les bords du corps opaque une portion de sphère dont le centre serait dans le foyer

1. Voir plus loin le paragraphe XVIII.

rayonnant, et il suppose que de chaque point de cette surface partent des rayons lumineux élémentaires dans toutes sortes de directions et avec des intensités sensiblement égales tant qu'ils s'écartent peu de la normale ; il ne tient pas compte des rayons très-inclinés qui, dans son hypothèse, se détruisent mutuellement ; il détermine enfin l'intensité de la lumière résultant du concours et des influences réciproques de tous les rayons peu inclinés sur la normale, en les assimilant à des forces qui feraient entre elles des angles proportionnels aux différences des chemins parcourus, la différence *d*, dont nous avons déjà parlé, répondant à une circonférence entière.

Par cette hypothèse, l'intensité de la lumière, dans tous les points de l'espace situés derrière le corps relativement au foyer rayonnant, se trouve parfaitement représentée par une formule intégrale qui embrasse chaque cas particulier.

Cette formule appliquée aux bandes extérieures, indique d'abord des variations périodiques dans l'intensité de la lumière qui avoisine l'ombre géométrique ; elle montre que, dans aucun point, la lumière n'est tout à fait nulle ; que la différence d'intensité entre une frange brillante et la frange obscure contiguë va continuellement en diminuant à mesure qu'on s'éloigne du corps, et qu'elle est déjà presque insensible dès le neuvième ou le dixième ordre ; ce qui est conforme aux observations. Elle fait voir aussi pourquoi les franges extérieures sont beaucoup moins nombreuses et moins vives que celles qui résultent de la rencontre de deux faisceaux lumineux partant d'un même foyer et réfléchis, comme dans l'expérience que

nous avons déjà citée, par deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre.

Le seul élément indéterminé que l'intégrale renferme est la quantité que nous avons désignée par *d*. L'auteur trouve, par diverses méthodes, que, dans la lumière rouge homogène transmise par son verre coloré, la valeur de *d* est égale à $\frac{64}{100{,}000}$ de millimètre [1]. Substituant ensuite cette valeur dans la formule générale, il en déduit aisément la largeur des franges, pour toutes les positions du foyer lumineux et de l'écran.

L'auteur a réuni dans un seul tableau les résultats comparatifs du calcul et de 25 séries d'expériences renfermant chacune les observations de 5 ordres de franges, ce qui donne en somme 125 mesures : la différence entre l'observation et sa théorie a atteint une seule fois $\frac{5}{100}$ de millimètre, trois fois $\frac{3}{100}$ et six fois $\frac{2}{100}$. Dans tous les autres cas, au nombre de 115, la discordance n'a jamais dépassé $\frac{1}{100}$ de millimètre, quoique les quantités mesurées se soient élevées jusqu'à 760 centièmes. Ajoutons, pour montrer combien dans toutes ces observations les circonstances ont été dissemblables, que la distance du point rayonnant au corps opaque a varié entre $0^m.1$ et 6 mètres, et la distance de ce même corps à l'écran entre $0^m.002$ et 4 mètres.

Les franges produites par une ouverture étroite, celles qu'on observe dans l'intérieur de l'ombre géométrique d'un corps opaque, naissent et se propagent suivant les

1. Voir plus loin le paragraphe XIX.

mêmes lois. Les mesures consignées dans le Mémoire sont représentées par les formules avec la précision des observations elles-mêmes.

L'un de vos commissaires, M. Poisson, avait déduit des intégrales rapportées par l'auteur le résultat singulier que le centre de l'ombre d'un écran circulaire opaque devait, lorsque les rayons y pénétraient sous des incidences peu obliques, être aussi éclairé que si l'écran n'existait pas. Cette conséquence a été soumise à l'épreuve d'une expérience directe, et l'observation a parfaitement confirmé le calcul [1]. Tout porte donc à croire que les mêmes formules qui ont si fidèlement donné la place des maxima et des minima de lumière représenteront également les intensités comparatives des franges. Des observations de ce genre seraient d'un grand intérêt : nous convenons qu'elles sont très-délicates ; mais le physicien plein de sagacité dont nous venons d'analyser le travail a fait déjà de trop grands pas sur cette route pour qu'on ne doive pas espérer qu'il cherchera encore à confirmer sa théorie par des mesures d'intensité.

L'auteur du Mémoire inscrit sous le n° 1 est certainement un physicien exercé, mais les moyens d'observation qu'il a employés n'étant pas suffisamment précis, quelques-uns des phénomènes que la lumière présente en passant par de petites ouvertures ou seulement dans le voisinage des corps opaques, ont échappé à son attention. L'auteur paraît n'avoir connu ni les travaux dont on est redevable au Dr Thomas Young, ni le Mémoire

1. Voir plus loin le paragraphe XX.

que M. Fresnel avait inséré, en 1816, dans les *Annales de chimie et de physique* : aussi, la partie de son travail qui se rapporte aux influences que les rayons de lumière exercent ou semblent exercer les uns sur les autres en se mêlant, loin de rien ajouter à ce qui était déjà connu, renferme plusieurs erreurs évidentes; d'après cela la commission s'est déterminée à accorder le prix au Mémoire inscrit sous le n° 2 et portant pour épigraphe : *Natura simplex et fecunda.*

XVI

TABLEAU RENFERMANT LES TRAJECTOIRES DES BANDES DE DIVERS ORDRES, RAPPORTÉES AUX CORDES QUI PASSENT PAR DEUX POSITIONS EXTRÊMES DE CES BANDES [1]

On a vu dans le rapport précédent, que les lignes qui passent par les positions successives d'une même bande ne sont pas droites. Le tableau suivant, extrait du Mémoire de Fresnel, fait connaître, pour les bandes de divers ordres, la distance qui sépare les positions observées des positions calculées. Celles-ci sont déduites de la supposition que la bande est toujours située sur la droite qui joint le bord du corps opaque et la position observée la plus distante. Les mesures de Fresnel prouvent en effet qu'on peut, dans tous les cas et sans erreur sensible, admettre que les bandes partent du bord même du corps. On remarquera, du reste, que les résultats de la quatrième série (a) sont entièrement indépendants de

1. Voir précédemment, p. 379.

cette hypothèse et que, pour ce cas, les cordes auxquelles les flèches de courbure sont rapportées partent des positions observées des divers ordres de bandes, à la distance de $1^{mill}.7$ du corps opaque. On a réuni, dans chaque groupe séparé toutes les observations pour lesquelles la distance du point radieux au corps opaque restait toujours la même.

Distances du point radieux au corps opaque.	Distances du corps opaque au micromètre.	Flèches de courbure pour les bandes de divers ordres. 1er ordre.	2e ordre.	3e ordre.	4e ordre.	5e ordre.
		Première série.				
$0^{m}.510$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m}.110$	$0^{mill}.19$	$0^{mill}.29$	$0^{mill}.35$	$0^{mill}.40$	$0^{mill}.44$
	0 .501	0 .14	0 .21	0 .25	0 .30	0 .34
	1 .005	0	0	0	0	0
		Deuxième série.				
$1^{m}.011$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m}.116$	$0^{mill}.23$	$0^{mill}.35$	$0^{mill}.42$	$0^{mill}.49$	$0^{mill}.55$
	0 .502	0 .27	0 .40	0 .51	0 .57	0 .63
	0 .996	0 .21	0 .30	0 .38	0 .42	0 .49
	2 .010	0	0	0	0	0
		Troisième série.				
$2^{m}.008$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m}.118$	$0^{mill}.26$	$0^{mill}.38$	$0^{mill}.47$	$0^{mill}.54$	$0^{mill}.60$
	0 .999	0 .34	0 .48	0 .60	0 .68	0 .76
	2 .998	0	0	0	0	0
		Quatrième série (a) rapportée à la corde qui joint les observations extrêmes.				
$3^{m}.018$	$0^{m}.0017$	0	0	0	0	0
	0 .253	$0^{mill}.30$	$0^{mill}.45$	$0^{mill}.56$	″	″
	0 .500	0 .38	0 .53	0 .65	″	″
	1 .003	0 .38	0 .56	0 .68	″	″
	1 .998	0 .31	0 .45	0 .54	″	″
	3 .002	0 .17	0 .23	0 .28	″	″
	3 .995	0	0	0	0	0

Quatrième série (b), rapportée à la corde qui part du bord du corps opaque.

Distances du point radieux au corps opaque.	Distances du corps opaque au micromètre.	Flèches de courbure pour les bandes de divers ordres. 1er ordre.	2e ordre.	3e ordre.	4e ordre.	5e ordre.
$3^{m}.018$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m}.0017$	$0^{mill}.04$	$0^{mill}.06$	$0^{mill}.08$	″	″
	0 .253	0 .34	0 .50	0 .63	$0^{mill}.73$	$0^{mill}.83$
	0 .500	0 .41	0 .58	0 .72	0 .85	0 .94
	1 .003	0 .41	0 .60	0 .74	0 .87	0 .97
	1 .998	0 .32	0 .48	0 .57	0 .67	0 .75
	3 .002	0 .18	0 .25	0 .30	0 .38	0 .39
	3 .995	0	0	0	0	0

Cinquième série.

$4^{m}.507$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m}.131$	$0^{mill}.27$	$0^{mill}.40$	$0^{mill}.50$	$0^{mill}.58$	$0^{mill}.66$
	1 .018	0 .32	0 .48	0 .59	0 .71	0 .81
	2 .506	0	0	0	0	0

Sixième série.

$6^{m}.007$	0	0	0	0	0	0
	$0^{m}.117$	$0^{mill}.23$	$0^{mill}.33$	$0^{mill}.42$	$0^{mill}.49$	$0^{mill}.53$
	0 .999	0	0	0	0	0

XVII

EXPÉRIENCES DÉMONTRANT QUE LA NATURE ET LA FORME DU CORPS N'INFLUENT PAS SUR LA POSITION DES BANDES DIFFRACTÉES [1]

Voici deux des expériences que rapporte Fresnel pour prouver que la nature et la forme du corps n'influent pas sur la position des bandes diffractées : « J'ai recouvert une glace non étamée d'une couche d'encre de Chine unie à une feuille mince de papier formant ensemble

1. Voir précédemment, p. 379.

une épaisseur d'un dixième de millimètre. Avec la pointe d'un instrument tranchant j'ai tracé deux lignes parallèles et j'ai enlevé soigneusement la portion de papier et d'encre comprise entre ces deux traits, et qui adhérait à la surface du verre. Cette ouverture, mesurée au micromètre, s'est trouvée de $1^{mill}.17$. J'ai pressé ensuite l'un contre l'autre deux cylindres de cuivre de $14^{mill}.5$ de diamètre, et en introduisant entre eux une lame graduée en forme de coin, je les ai écartés jusqu'à ce que l'intervalle qui les séparait fût aussi de $1^{mill}.17$. Ces cylindres, posés à côté de la glace noircie, étaient comme elle à $4^{m}.015$ du point lumineux et à $1^{m}.663$ du micromètre. J'ai mesuré la largeur des franges produites par ces deux ouvertures et, comme on va le voir, elles se sont trouvées parfaitement égales. Ces observations ont été faites dans la lumière blanche.

« Intervalle compris entre les points les plus sombres des deux bandes obscures du premier ordre, à la séparation du rouge bistre et du violet :

« Sur le verre, $1^{mill}.49$; sur les cylindres, $1^{mill}.49$.

« Intervalle compris entre les limites des deux franges du deuxième ordre, à la séparation du rouge et du vert :

« Sur le verre, $3^{mill}.22$; sur les cylindres, $3^{mill}.22$.

« Il serait difficile de trouver, quant à la masse et à la nature des bords d'une ouverture, des circonstances plus dissemblables que celles de l'expérience précédente. Dans un des cas, la diffraction était produite par une couche mince d'encre de Chine; dans l'autre, deux cylindres de cuivre, de 14 millimètres et demi de diamètre, et qui présentaient dès lors aux rayons, sur les bords de l'ou-

verture, des masses et des surfaces considérables ; et l'on voit cependant qu'il y a eu, dans les deux expériences, parité parfaite de dilatation du faisceau lumineux. »

L'expérience qui suit montre d'une manière non moins évidente qu'on peut changer la forme du corps sans altérer pour cela, en aucune manière, la position des bandes diffractées.

« J'ai fait passer, dit Fresnel, un faisceau lumineux entre deux plaques d'acier très-rapprochées, dont les bords verticaux, bien dressés sur toute leur longueur, étaient tranchants dans une partie, arrondis dans une autre, et disposés de manière que le bord arrondi d'une des plaques répondait au tranchant de l'autre, et réciproquement. Il en résultait que le tranchant se trouvant à droite, par exemple, dans la partie supérieure de l'ouverture, était à gauche dans la partie inférieure. Par conséquent, pour peu que la différence d'action des deux bords eût porté les rayons plus d'un côté que de l'autre, je m'en serais aperçu aux positions relatives des parties supérieure et inférieure de l'intervalle clair du milieu, et surtout à celles des franges qui l'accompagnent et qui auraient paru brisées dans la partie correspondante au point où le tranchant supérieur s'arrondissait et où commençait le tranchant inférieur de l'autre plaque. Mais en observant attentivement ces bandes, je n'ai remarqué aucun point de rupture ni d'inflexion dans toute leur longueur ; elles étaient droites et continues comme si les plaques avaient été disposées de manière que les parties de même forme fussent opposées l'une à l'autre. On pourrait varier l'expérience, ajoute M. Fresnel, en com-

posant ces plaques de deux parties de natures différentes, et l'on obtiendrait le même résultat. » Je me rappelle, en effet, avoir vu, il y a quelques années, dans le cabinet de physique d'Arcueil, des lames ainsi composées de corps de diverses natures et qui cependant déviaient également la lumière dans toute leur étendue, comme MM. Berthollet et Malus l'avaient reconnu par des mesures multipliées et très-précises.

XVIII

EXPÉRIENCES RELATIVES A LA DÉTERMINATION DES RAYONS QUI CONCOURENT A LA PRODUCTION DES FRANGES [1]

Les expériences qui suivent démontrent également qu'on ne peut pas attribuer les phénomènes de la diffraction aux seuls rayons qui touchent les bords des corps, et qu'une infinité de rayons séparés de ces bords par des intervalles sensibles sont écartés de leurs directions primitives et concourent aussi à la production des franges.

« Ayant découpé, dit Fresnel, une feuille de cuivre GH dans la forme représentée par la figure ci-jointe (fig. 20), je la plaçai devant un point lumineux dans une chambre obscure et j'examinai son ombre avec une loupe : or, voici ce que j'observai, en m'en éloignant graduellement : lorsque les franges produites par chacune des ouvertures très-étroites CEE'C' et DFF'D' étaient sorties de l'ombre géométrique de CDEF, qui ne recevait plus alors qu'une lumière sensiblement blanche de chaque fente considérée

1. Voir précédemment, page 383.

séparément, les franges intérieures provenant du croisement de ces deux faisceaux lumineux présentaient des couleurs beaucoup plus vives et plus pures que celles des franges intérieures de l'ombre ABDC, et avaient en même temps plus d'éclat. En m'éloignant davantage, je voyais la lumière diminuer dans toute l'étendue de l'ombre ABFE, mais plus rapidement dans EFDC que dans la partie supérieure; en sorte qu'il y avait un instant où l'intensité de la lumière était la même de haut en bas, après lequel les franges devenaient plus obscures dans la

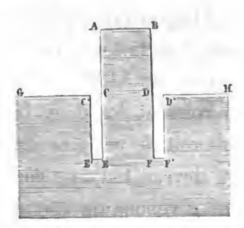


Fig. 20. — Détermination des rayons qui concourent à la production des franges.

partie inférieure[1], quoique leurs couleurs fussent toujours beaucoup plus pures.

« S'il n'y avait de lumière infléchie que celle qui a rasé les bords mêmes du corps opaque, les franges de la partie supérieure devraient être plus nettes que celles de la partie inférieure et présenter des couleurs plus pures; car les premières proviendraient du concours de deux systèmes d'ondes ayant leurs centres sur les deux côtés

1. Pour que cette différence d'éclat entre les deux parties de l'ombre puisse être bien prononcée, il faut que les fentes CE et DF soient très-étroites et que la feuille de cuivre soit suffisamment éloignée du point lumineux.

AC et BD, tandis que les autres seraient formées par ce concours de quatre systèmes d'ondes ayant leurs centres sur les bords C'E', CE, DF, D'F', ce qui diminuerait nécessairement la différence d'intensité des bandes obscures et brillantes dans la lumière homogène, ou la pureté des couleurs dans la lumière blanche, puisque les franges produites par les rayons réfléchis et infléchis sur C'E' et DF ne coïncideraient pas parfaitement avec celles qui proviendraient du concours des rayons partis de CE et de D'F' ; or, comme je viens de le dire, l'expérience prouve le contraire. On pourrait expliquer, dans la même hypothèse, comment il se fait que l'ombre de ECDF est mieux éclairée que celle de ABDC par la double source de lumière que fournissent les deux bords de chaque fente; mais il résulterait de cette explication même que la partie inférieure devrait toujours conserver sa supériorité d'éclat, et nous venons de voir qu'il n'en est pas ainsi.

« Il résulte des expériences que je viens de rapporter qu'on ne peut pas attribuer les phénomènes de la diffraction aux seuls rayons qui touchent les bords des corps, et qu'il faut admettre qu'une infinité d'autres rayons séparés de ces corps par des intervalles sensibles se trouvent néanmoins écartés de leur première direction et concourent aussi à la formation des franges.

« La dilatation qu'éprouve un faisceau lumineux en passant par une ouverture très-étroite démontre d'une manière encore plus directe que l'inflexion de la lumière s'étend à une distance sensible des bords du diaphragme. C'est en réfléchissant sur ce phénomène que j'ai reconnu

l'erreur dans laquelle j'étais tombé d'abord. Lorsqu'on approche beaucoup l'une de l'autre deux lames opaques placées devant un point lumineux dans une chambre obscure, on voit l'espace éclairé par l'ouverture qui les sépare s'élargir considérablement : ce sont les deux couteaux de Newton. Je suppose que, comme dans son expérience, les bords de l'ouverture soient tranchants et parfaitement affilés, non que cela influe sur le phénomène, mais seulement pour rendre plus évidente la conséquence qu'on doit en tirer. La petite quantité de rayons qui ont touché les tranchants étant répandue dans un espace aussi étendu ne pourrait produire qu'une lumière insensible, ou du moins extrêmement faible, et au milieu de laquelle on devrait distinguer une bande brillante tracée par le pinceau des rayons directs. Il n'en est pas ainsi cependant, et la teinte blanche paraît d'une intensité à peu près uniforme dans un espace beaucoup plus grand que la projection de l'ouverture[1]; elle s'affaiblit ensuite, mais par degrés, jusqu'aux bandes obscures du premier ordre. C'était sans doute pour rendre raison de la quantité considérable de lumière infléchie que Newton avait supposé que l'action des corps sur les rayons lumineux s'étendait à des distances très-sensibles; mais cette hypothèse ne peut soutenir un examen approfondi. »

1. « L'espace éclairé est d'autant plus grand par rapport à la projection conique de l'ouverture, qu'on éloigne davantage du diaphragme le carton blanc sur lequel on reçoit son ombre; et que ce diaphragme est lui-même plus éloigné du point lumineux; en sorte qu'en augmentant suffisamment ces deux distances, on pourrait obtenir le même effet avec une ouverture d'une largeur quelconque. »

XIX

EXPÉRIENCES RELATIVES A LA VÉRIFICATION DE LA VALEUR DE LA LONGUEUR D'ONDE D'UN RAYON ROUGE [1]

L'auteur détermine d'abord la longueur d'une ondulation pour l'espèce particulière de verre coloré qu'il employait, à l'aide d'une méthode dont l'explication se trouve dans son Mémoire.

Cette valeur, par une moyenne entre cinq déterminations très-peu différentes, s'est trouvée égale à $0^{\text{mill}}.000638$. Voici maintenant comment Fresnel confirme l'exactitude de ce résultat :

On peut appliquer aux franges formées par la rencontre de deux faisceaux lumineux réfléchis sur deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre, la formule à l'aide de laquelle Fresnel avait déterminé la largeur des franges qui s'observent dans l'ombre d'un corps étroit. Lorsqu'on suppose que ces dernières franges proviennent uniquement de la lumière infléchie dans l'ombre sur les bords mêmes du corps, leur largeur, ou l'intervalle compris entre deux minima consécutifs, se calcule par la formule $\frac{b\lambda}{c}$ (*Annales de chimie et de physique*, t. I, p. 261). λ est la longueur de l'onde lumineuse, b la distance du corps au micromètre. Quant à c, il représentait la largeur du corps opaque; par conséquent, dans le phénomène produit par deux miroirs, il doit représenter la distance entre les deux images du point lumineux.

1. Voir précédemment, page 385.

« N'ayant pas pu me procurer des miroirs métalliques assez exactement plans, je me suis servi, dit Fresnel, de deux glaces non étamées travaillées avec une grande perfection, que j'ai fait enduire d'un vernis noir par derrière, pour éteindre la seconde réflexion. Je les ai fixées l'une à côté de l'autre sur un support avec de la cire molle, en ne les pressant que très-légèrement pour éviter les flexions. Un inconvénient qui résulte de cette manière de les fixer, c'est qu'il arrive souvent qu'elles changent un peu de position pendant l'expérience, et les moindres variations rendent l'opération inexacte. Pour éviter les erreurs de ce genre, j'ai eu soin de mesurer les franges avant et après la mesure de l'intervalle compris entre les deux images du point lumineux, afin de m'assurer qu'elles n'avaient point changé de largeur pendant cette opération. J'ai déterminé l'intervalle compris entre les deux images du point lumineux, au moyen d'un écran placé à une certaine distance du micromètre et percé d'un petit trou circulaire qui avait assez de longueur cependant pour que le centre de son ombre, au lieu d'être clair et dilaté, comme cela a lieu quand on se sert d'une ouverture très-étroite, fût occupé par un cercle obscur d'une très-petite étendue; ce qui rend les mesures plus précises. Cet écran était assez éloigné des deux miroirs pour que les bords du trou fussent suffisamment distants des limites de la partie commune des deux champs lumineux, de façon qu'elles n'eussent pas d'influence sensible sur les franges centrales de ce petit trou. Je mesurais la distance entre les centres des deux projections lumineuses du petit trou, qui étaient disposées d'une manière symé-

trique relativement aux franges produites par les deux miroirs et se trouvaient à la hauteur du micromètre, en sorte que je n'étais point obligé de changer sa position ; ce qui est indispensable, parce qu'il n'arrive presque jamais que ces franges aient la même largeur dans toute leur étendue. Connaissant d'ailleurs la distance du petit trou au micromètre et aux deux images du point lumineux, je pouvais, par une simple proportion, déterminer l'intervalle compris entre ces deux images. Voici les résultats de mes observations : chaque mesure micrométrique a été prise au moins quatre fois.

Première observation.

Distance du point lumineux aux miroirs............	$2^{m}.323$
— des miroirs au petit trou..................	3 .171
— du petit trou au micromètre...............	1 .522
Distance totale ou valeur de b........................	$7^{m}.016$
Intervalle entre les centres des deux projections lumineuses du petit trou....................................	$3^{mill}.370$
On en déduit pour l'intervalle entre les deux images du point lumineux....................................	$12^{mill}.16$
D'après ces données on trouve pour la largeur de onze franges, au moyen de la formule $\frac{11\,b\lambda}{c}$ et de la valeur précédente de λ....................................	$4^{mill}.05$
L'observation m'avait donné........................	4 .06
Différence...............	$-0^{mill}.01$

Deuxième observation.

Distance du point lumineux aux miroirs............	$2^{m}.321$
— des miroirs au petit trou..................	3 .105
— du petit trou au micromètre...............	1 .533
Distance totale ou valeur de b......	$6^{m}.959$

Intervalle entre les centres des deux projections lumineuses du petit trou	$4^{mill}.14$
On en déduit pour l'intervalle entre les deux images du point lumineux	$14^{mill}.65$
D'après ces données on trouve pour la largeur de onze franges, au moyen de la formule $\frac{11\,b\,\lambda}{c}$	$3^{mill}.33$
L'observation m'avait donné	$3^{mill}.35$
Différence	$-0^{mill}.02$

« On produit un phénomène absolument semblable à celui que présentent deux miroirs légèrement inclinés entre eux, en se servant d'un verre plan d'un côté et dont l'autre surface est composée de deux plans formant un angle saillant très-obtus, afin que les deux images du point lumineux produites par ce verre soient assez rapprochées pour que les franges aient une largeur suffisante et puissent être aperçues. L'interposition de ce verre fait naître, comme la réflexion sur deux miroirs, deux systèmes d'ondes lumineuses dont les intersections produisent des bandes obscures ou brillantes, selon l'accord ou la discordance de leurs mouvements vibratoires. Il est évident que les mêmes formules doivent s'appliquer aux deux phénomènes. Voici les résultats d'une expérience faite avec un verre prismatique, en suivant, du reste, les mêmes procédés que dans les observations précédentes sur les franges produites par deux miroirs :

Distance du point lumineux au petit trou	$5^{m}.877$
— du petit trou au micromètre	1 .265
Distance totale ou valeur de b	$7^{m}.142$
Intervalle entre les centres des projections lumineuses du petit trou	$4^{mill}.66$
On en déduit, pour l'intervalle entre les deux images du point lumineux	$21^{mill}.65$

D'après ces données, on trouve, pour la largeur de onze franges, au moyen de la formule $\frac{11\,b\,\lambda}{c}$........... $2^{\text{mill}}.31$

L'observation m'avait donné....................... $2^{\text{mill}}.30$

Différence.......... $+\,0^{\text{mill}}.01$

« D'après les observations de Newton sur les anneaux colorés, la longueur d'ondulation des rayons rouges extrêmes est $0^{\text{mill}}.000645$; celle des rayons à la séparation du rouge et de l'orangé $0^{\text{mill}}.000596$, et par conséquent celle des rayons rouges moyens $0^{\text{mill}}.000620$. Ainsi, la longueur $0^{\text{mill}}.000638$ répondrait à un point du spectre solaire un peu plus voisin de l'extrémité que du milieu du rouge, si toutefois les résultats de Newton ne sont pas un peu trop faibles, comme je serais porté à le croire. »

XX

EXPÉRIENCES RELATIVES A LA DÉTERMINATION DES INTENSITÉS COMPARATIVES DES FRANGES [1]

M. Poisson, depuis le rapport de la commission, ayant fait remarquer à Fresnel que l'intégrale qui représente l'intensité de la lumière diffractée peut aisément s'obtenir pour le centre de l'ombre d'un écran ou d'une ouverture circulaires, celui-ci fit le calcul pour ce dernier cas et trouva que l'expression générale d'intensité devenait alors semblable à celle de la lumière réfléchie dans le phénomène des anneaux colorés; que ses minima étaient tout à fait nuls et devaient présenter ainsi

1. Voir précédement, p. 386.

un noir à peu près parfait, dans une lumière sensiblement homogène, du moins pour les trois premiers ordres, où le défaut d'homogénéité de la lumière rouge employée ne se faisait pas encore trop sentir; c'est aussi ce que l'expérience a confirmé. En plaçant le foyer de la loupe du micromètre aux distances calculées, on apercevait comme une tache d'encre au centre de l'ouverture circulaire.

En observant le phénomène dans la lumière blanche, en se rapprochant graduellement de l'ouverture, on voyait le centre de sa projection présenter successivement toutes les teintes qu'on observe dans les franges produites par le concours de deux faisceaux lumineux réfléchis sur des miroirs et avec le même degré de vivacité.

Fresnel, après avoir calculé pour une distance donnée et pour une ouverture circulaire dont il avait mesuré le diamètre, l'intensité de chacune des sept principales espèces de rayons simples, substitua les nombres qu'il avait ainsi obtenus dans la formule empirique de Newton qui sert à déterminer la teinte produite par un mélange quelconque de rayons colorés, et trouva un résultat conforme à l'observation.

On peut regarder cette expérience comme une vérification des formules de Fresnel, sous le rapport de l'intensité de la lumière diffractée; on voit, du moins, qu'elles représentent les intensités relatives des différentes espèces de rayons.

XXI

RAPPORT FAIT A L'ACADÉMIE DES SCIENCES LE LUNDI 4 JUIN 1821 SUR UN MÉMOIRE DE FRESNEL RELATIF AUX COULEURS DES LAMES CRISTALLISÉES DOUÉES DE LA DOUBLE RÉFRACTION [1]

M. Fresnel s'est proposé, dans le Mémoire dont l'Académie nous a chargés de lui rendre compte, M. Ampère et moi (M. Arago), premièrement de prouver que l'ingénieuse théorie de la polarisation mobile, d'après laquelle M. Biot explique le mode de formation des vives couleurs qu'acquièrent les lames cristallisées lorsque, après les avoir exposées à un faisceau polarisé, on analyse la lumière émergente avec un rhomboïde de spath calcaire, est, sur beaucoup de points, insuffisante ou inexacte; deuxièmement, de montrer que tous ces phénomènes de coloration qui, depuis quelques années, ont tant occupé les physiciens de France, d'Angleterre et d'Allemagne, sont des conséquences nécessaires de l'action mutuelle des deux faisceaux en lesquels la lumière se divise quand elle traverse la lame cristallisée.

Les effets de ce genre particulier d'action que deux

1. Rapport inséré dans le tome XVII des *Annales de chimie et de physique*, avec la note suivante : « Quoique ce rapport ait été lu devant l'Académie des sciences le lundi 4 juin 1821, ce n'est qu'à la séance suivante du 11 que cette assemblée a statué sur les conclusions qui le terminent, et auxquelles, dans l'intervalle, nous avions fait, M. Ampère et moi, de légères modifications. J'ai écouté avec la plus scrupuleuse attention la réplique que M. Biot a lue le 11 juin ; mais j'avoue avec franchise qu'elle ne m'a paru détruire aucune des preuves que nous avions données de l'insuffisance de la théorie de la polarisation mobile. »

rayons lumineux exercent l'un sur l'autre et qu'on désigne par le mot d'*interférence*, ayant jusqu'ici très-peu fixé l'attention des observateurs, il nous a semblé qu'il serait convenable de faire précéder l'analyse du Mémoire de M. Fresnel de l'énoncé de toutes les lois expérimentales relatives aux interférences dont nous aurons l'occasion de nous servir.

Deux rayons de lumière homogène, émanant d'une même source, qui parviennent en un certain point de l'espace par deux routes différentes et légèrement inégales, s'ajoutent ou se détruisent, forment sur l'écran qui les reçoit un point clair ou obscur, suivant que la différence des routes a telle ou telle autre valeur.

Deux rayons s'ajoutent là où ils ont parcouru des chemins égaux; si l'on trouve qu'ils s'ajoutent de nouveau quand la différence des deux chemins est égale à une certaine quantité d, ils s'ajouteront encore pour toutes les différences comprises dans la série $2d$, $3\,d$, $4\,d$, etc. Les valeurs intermédiaires $0+\frac{1}{2}d$, $d+\frac{1}{2}d$, $2\,d+\frac{1}{2}d$, etc., indiquent les cas dans lesquels des rayons se neutralisent réciproquement.

La quantité d n'a pas la même valeur pour tous les rayons homogènes : dans l'air, elle est égale à $\frac{67}{100{,}000}$ de millimètre relativement aux rayons rouges extrêmes du spectre et seulement à $\frac{42}{100{,}000}$ pour les rayons violets. Les valeurs correspondantes aux autres couleurs sont intermédiaires entre celles que nous venons de rapporter.

La différence de route ne détermine seule l'espèce d'action que deux rayons exercent l'un sur l'autre dans le point de leur croisement, qu'alors qu'ils se sont mus

constamment, tous les deux, dans le même milieu. S'il existe quelque diversité entre les réfringences ou les épaisseurs des corps diaphanes traversés par chaque rayon, elle produit un effet égal à une différence de chemin.

Dans tous les phénomènes d'interférence, deux milieux différents produisent des effets pareils lorsqu'ils ont des épaisseurs en raison inverse des coefficients de leurs réfractions : nous appelons de ce nom de *coefficient*, comme le font les physiciens anglais, le rapport du sinus d'incidence à celui de réfraction.

Une polarisation préalable des rayons modifie, à plusieurs égards, les lois précédentes des interférences. Voici les résultats que MM. Fresnel et Arago ont obtenus dans un travail qu'ils avaient entrepris en commun et qui a été publié dans les *Annales de chimie et de physique* [1].

Deux rayons de lumière polarisés dans un même sens agissent l'un sur l'autre comme des rayons naturels.

Dans les mêmes circonstances où deux rayons de lumière ordinaire paraissent mutuellement se détruire, deux rayons polarisés à angles droits ou en sens contraires n'exercent l'un sur l'autre aucune action appréciable.

Deux rayons primitivement polarisés en sens contraires peuvent ensuite être ramenés à un même plan de polarisation, sans néanmoins acquérir par là la faculté de s'influencer.

Deux rayons polarisés en sens contraires et ramenés ensuite à des polarisations analogues, s'influencent comme

1. Voir page 132 de ce volume.

des rayons naturels, s'ils proviennent d'un faisceau primitivement polarisé dans un seul sens.

Occupons-nous maintenant, après avoir énoncé ces lois, de l'analyse du Mémoire que l'Académie a renvoyé à notre examen.

Pour expliquer les phénomènes de coloration que produisent les lames cristallisées lorsqu'on les éclaire par des rayons polarisés, M. Biot suppose que ces lames n'agissent pas sur la lumière comme des cristaux épais. Voici quels sont, suivant lui, les principes fondamentaux du genre d'action particulier aux lames : ces principes forment la base de ce qu'il a appelé la *théorie de la polarisation mobile.*

Lorsqu'un rayon de lumière simple, polarisé suivant une direction fixe, traverse perpendiculairement une lame cristallisée parallèle à l'axe de double réfraction, les molécules lumineuses commencent par pénétrer jusqu'à une certaine profondeur sans perdre leur polarisation primitive; après quoi leur mouvement de translation continuant toujours, elles se mettent à osciller périodiquement sur elles-mêmes, de manière que leur axe de polarisation se transporte alternativement de part et d'autre de l'axe du cristal ou de la ligne perpendiculaire, dans des amplitudes égales, comme un pendule autour de la verticale dont on l'a écarté. Chacune des oscillations s'exécute dans une épaisseur $2\,l'$, double de celle que la molécule avait parcourue d'abord avant d'entrer en oscillation.

« ..... Ce mouvement oscillatoire (nous citons toujours textuellement le *Traité de physique expérimentale et mathématique*) s'arrête lorsque les molécules lumineuses, par-

venues à la seconde surface de la lame, sortent dans l'air ou dans tout autre milieu qui ne possède pas la double réfraction. Alors, si l'on soumet le rayon émergent à l'action d'un prisme de spath d'Islande, ou d'une glace inclinée, ou de tout autre système qui produise la polarisation fixe, les molécules lumineuses se comportent comme si elles possédaient complétement le sens de polarisation vers lequel leur dernière oscillation les conduisait, soit qu'elles l'aient entièrement achevée, ou seulement commencée à l'instant où elles sont sorties du cristal. » (*Traité de physique*, t. IV, p. 391-392.)

D'après ce second principe, « lorsque la lumière simple traverse des lames minces d'un même cristal taillé parallèlement à l'axe, les alternatives de polarisation qu'elle présente à sa sortie doivent suivre des périodes exactement pareilles. Ainsi, ajoute M. Biot, depuis l'épaisseur 0 jusqu'à une certaine épaisseur fondamentale e', les molécules homogènes qui la composent se comportent, après leur émergence, comme si elles n'avaient pas quitté leur polarisation primitive. Depuis e' jusqu'à $2e'$, elles se comportent comme si elles l'avaient quittée pour en prendre une nouvelle dans l'azimut $2i$, et enfin elles paraissent alternativement polarisées dans l'azimut 0 ou dans l'azimut $2i$. » (T. IV, p. 389.)

M. Biot rapporte enfin, page 390, une expérience destinée, suivant lui, à prouver que les molécules lumineuses, à mesure qu'elles « s'enfoncent dans une seule et même lame, y subissent réellement ces alternatives... »

Rapprochons ces divers paragraphes des résultats contenus dans le Mémoire de M. Fresnel. Cet habile

physicien annonce d'abord que les lois de la polarisation mobile données par M. Biot ne s'accordent avec l'observation que dans des cas très-particuliers; nous pensons devoir rapporter ici une des expériences sur lesquelles il fonde cette assertion, et dont il nous a rendus fréquemment témoins.

Il place une lame de sulfate de chaux de manière que son axe fasse un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation de la lumière homogène par laquelle il veut la faire traverser. Dans cette position, $2i$ étant égal à 90°, le faisceau transmis devrait être polarisé, suivant les principes précédents, ou dans le plan primitif ou dans le plan perpendiculaire : cependant, quand on l'analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, il donne, si la lame a l'épaisseur convenable, deux images de même intensité dans toutes les positions de la section principale : il faut donc nécessairement admettre, ou que la lumière a été complétement dépolarisée dans la lame, ou qu'elle s'est partagée par moitié entre le plan primitif et l'azimut $2i$: or, aucune de ces deux suppositions ne s'accorde évidemment avec l'énoncé de la loi que M. Biot a donnée.

Si l'on représente par d cette différence des chemins parcourus dont nous avons parlé précédemment, et qui détermine la suite périodique des points de l'espace dans lesquels l'interférence de deux rayons homogènes donne lieu à une obscurité complète, on pourra calculer, à l'aide des règles suivantes, les épaisseurs des lames qui produisent les phénomènes décrits par M. Biot et les épaisseurs dans lesquelles les phénomènes, au contraire, ne s'accordent pas avec ses lois.

Lorsque la différence des chemins parcourus dans la lame par les rayons ordinaire et extraordinaire sera égale à 0, à nd ou à $(n+\frac{1}{2})\ d$, n étant un nombre entier, la lumière transmise paraîtra polarisée tout entière dans le plan primitif ou dans l'azimut $2i$.

Quand l'épaisseur du cristal sera telle que la différence des chemins parcourus pourra être déduite de la formule $(n+\frac{1}{4})\ d$, n étant encore un nombre entier, il y aura dans la lumière transmise absence totale de polarisation si l'axe de la lame est à 45° du plan primitif de polarisation.

Dans tous les autres cas, enfin, on reconnaît aisément, si l'on examine les rayons émergents avec un rhomboïde, qu'ils ne sont que partiellement polarisés.

Suivant les principes de la polarisation mobile, la lumière n'acquiert pas subitement, en traversant les cristaux, les deux polarisations fixes et rectangulaires qu'on a d'abord remarquées dans les faisceaux ordinaire et extraordinaire transmis par un rhomboïde de carbonate de chaux : ce n'est qu'après avoir pénétré dans le cristal à des épaisseurs sensibles, et qui, pour le quartz, par exemple, seraient, suivant M. Biot, de plusieurs millimètres, que les axes des molécules commenceraient à se trouver rangés dans le plan de la section principale et dans le plan perpendiculaire. M. Fresnel pense, au contraire, que la lumière qui émerge de tout cristal à un seul axe, mince ou épais, est constamment composée de deux faisceaux polarisés dans des directions rectangulaires. Ceci n'a jamais offert d'exception dans les cristaux qui, en raison de leur épaisseur ou de leur taille, sépa-

raient assez les rayons ordinaires des rayons extraordinaires pour qu'on pût étudier séparément leurs propriétés. Voici comment M. Fresnel s'y est pris pour prouver que la même loi doit être étendue aux lames les plus minces et à faces parallèles :

Après avoir réuni la lumière solaire dans un point très-petit à l'aide d'une lentille d'un court foyer appliquée au volet d'une chambre obscure, on reçoit le faisceau divergent de rayons sur deux miroirs de verre légèrement inclinés l'un à l'autre. Si nous supposons que l'angle d'incidence soit d'environ 35°, les faisceaux réfléchis par l'un et par l'autre miroir seront complétement polarisés et, en se croisant dans l'espace, formeront par leur interférence des bandes obscures et brillantes. Examinées avec un rhomboïde, ces bandes seront polarisées pour toutes les positions des miroirs réfléchissants, dans le même azimut que les deux faisceaux qui concourent à leur production, d'où se déduit la conséquence, déjà énoncée au commencement de ce rapport, que la lumière qui résulte de l'interférence de deux faisceaux polarisés dans un sens déterminé est elle-même polarisée comme les deux faisceaux composants.

Prenons maintenant une lame de sulfate de chaux très-limpide et coupons-la par le milieu afin d'avoir deux lames d'égale épaisseur. Fixons l'une des moitiés de cette lame en avant des miroirs, de telle sorte qu'elle ne soit traversée que par le faisceau réfléchi sur la surface du premier ; admettons de plus que sa section principale fasse un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation ; plaçons ensuite l'autre moitié de la lame sur la route des

rayons polarisés que le second miroir réfléchit, mais de manière que sa section principale étant perpendiculaire à celle de la première, fasse, comme elle, avec le plan primitif de polarisation un angle de 45°.

Si ces lames agissent comme des cristaux épais, elles doivent l'une et l'autre, quelle que soit d'ailleurs la petitesse de leur double réfraction, partager les rayons réfléchis qui les traversent en deux faisceaux de même intensité et polarisés à angles droits; il arrivera seulement, dans les positions particulières qu'elles occupent par hypothèse, que le faisceau ordinaire de la lame de droite, par exemple, sera polarisé dans le même sens que le rayon extraordinaire de la lame de gauche, et réciproquement, que le faisceau ordinaire provenant de cette dernière lame aura une polarisation analogue à celle du faisceau extraordinaire qui émerge de la lame opposée.

Ceci une fois admis, il est facile de prévoir ce qui arrivera dans les points où les deux faisceaux viendront à se croiser. Les rayons ordinaires provenant de la lame de droite pourront d'abord interférer avec les rayons extraordinaires que donne la lame de gauche, puisqu'ils sont polarisés dans le même sens, et formeront un premier système de bandes obscures et brillantes. Un second système résultera de l'action des rayons extraordinaires de droite sur les rayons ordinaires de la lame de gauche; ces deux groupes de bandes seront d'autant plus séparés que les lames auront plus d'épaisseur et que le genre de cristal auquel elles appartiennent jouira d'une plus forte double réfraction. Dans l'espace intermédiaire se trouvent les rayons de même nom fournis par les deux lames;

mais comme ils sont ici polarisés en sens opposés, ils se croiseront sans donner naissance à aucun phénomène d'interférence et l'œil n'y apercevra qu'une lumière uniforme.

Il n'est pas moins évident que chacun des systèmes de franges, quand on se sert de sulfate de chaux, devra être complétement polarisé dans un plan perpendiculaire à l'axe de la lame la plus voisine : or, il n'est aucune de ces conséquences, résultant de la supposition d'où nous sommes partis que les deux lames décomposent la lumière comme des cristaux épais, qui ne soit parfaitement conforme à l'expérience.

Dans les principes de la polarisation mobile de M. Biot, les phénomènes se présenteraient avec des circonstances entièrement différentes. Les deux lames interposées laisseraient leur polarisation primitive aux rayons transmis ou bien les repolariseraient dans l'azimut $2i$; mais i, par hypothèse, étant égal à 45°, les plans de polarisation définitifs des faisceaux émergents seraient le plan primitif ou le plan perpendiculaire; tels devraient être conséquemment aussi les sens de polarisation des deux systèmes de bandes formés par l'interférence des rayons ordinaires et extraordinaires provenant des deux lames; or, loin que l'observation confirme cette conséquence des lois de la polarisation mobile, on peut dire qu'elle lui est aussi contraire que possible. Si l'on place, en effet, la section principale d'un rhomboïde dans le plan primitif de polarisation des rayons réfléchis par les miroirs ou dans le plan perpendiculaire, non-seulement on apercevra une image ordinaire et une image extraordinaire de chacun

des systèmes de bandes, mais ces positions du cristal seront précisément celles qui donneront aux deux images des intensités exactement pareilles.

Pour peu qu'on ait réfléchi sur les seuls cas dans lesquels les rayons lumineux donnent des effets appréciables d'interférence, on verra que les deux systèmes de bandes qui ont fait l'objet des expériences dont nous venons d'entretenir l'Académie ne peuvent, comme nous l'avons admis, résulter que de la rencontre des rayons ordinaires d'une lame avec les rayons extraordinaires de la lame opposée. Si toutefois on paraissait avoir quelque doute à ce sujet, nous ajouterions qu'il est facile de refaire cette expérience en substituant, aux lames minces qui nous servaient d'abord, des cristaux épais (deux rhomboïdes de carbonate de chaux, si l'on veut) dans lesquels la double réfraction serait manifeste. Comme on pourrait alors suivre la marche de chaque faisceau, et les arrêter tour à tour avec des écrans, on prouverait, par le fait même, que pour la formation d'un des groupes de bandes, il faut et il suffit que le faisceau ordinaire d'un des cristaux rencontre le faisceau extraordinaire de l'autre, et réciproquement. Le sens de la polarisation des bandes, déterminé à l'aide d'un rhomboïde, serait d'ailleurs exactement le même que dans l'expérience des lames minces. Le seul trait de dissemblance se trouverait dans la distance qui séparerait les deux groupes : celle-ci, dépendant toujours de la différence entre les chemins parcourus par les rayons ordinaires et extraordinaires, serait beaucoup plus grande dans l'expérience faite avec les cristaux que dans celle des lames; il pourrait même arriver, si les cristaux

étaient très-épais, que pour amener de nouvelles franges dans le champ de la vision, il fallût compenser une partie de la différence de route ou de vitesse, à l'aide de l'interposition d'un verre plan placé sur le chemin parcouru par l'un des faisceaux; mais, en tout cas, les conséquences de l'observation se présenteraient avec la même netteté. Nous ajouterons une dernière circonstance qui, à elle seule, trancherait toutes les difficultés qu'on pourrait faire sur la véritable cause de la formation des deux systèmes de franges dans le cas des lames minces : ce sera que l'intervalle qui sépare ces franges est tellement lié à la double réfraction des lames que, dans des expériences que l'un de nous (M. Arago) a faites avec M. Fresnel, on en a toujours déduit une valeur numérique exacte de cette double réfraction, comme il a été facile de le reconnaître en la mesurant ensuite par les méthodes ordinaires sur des cristaux épais de même nature.

En résumé, un rayon lumineux qui traverse une lame mince de sulfate de chaux s'y partage généralement en deux rayons, l'un ordinaire et l'autre extraordinaire. Mathématiquement parlant, ces deux rayons suivent dans le cristal des routes différentes; mais il n'est pas possible de les séparer physiquement, parce qu'à cause de l'imperfection de nos organes, on est forcé de viser à des images d'une certaine largeur. On voit maintenant où réside la difficulté dans les recherches entreprises par M. Biot et M. Fresnel, sur le genre de polarisation que chacun des deux rayons a dû éprouver dans la lame. M. Biot, sans essayer d'isoler ces rayons, se contente d'examiner en masse les propriétés de la lumière émer-

gente. Il trouve que, dans certains cas que nous avons fait connaître, cette lumière, composée à la fois de rayons ordinaires et de rayons extraordinaires, paraît conserver sa polarisation primitive ou semble polarisée tout entière dans l'azimut $2i$. C'est sur cela qu'il fonde la conclusion que les lames minces agissent tout autrement que les cristaux épais. M. Fresnel, s'il ne sépare pas à la rigueur les deux classes de rayons émergents, les isole du moins par leurs effets. Quand il veut étudier les propriétés des rayons ordinaires, il jette sur l'espace où ces rayons se trouvent mêlés aux rayons extraordinaires un faisceau polarisé comme les premiers et qui, conséquemment, ne peut interférer qu'avec eux. Le champ de la vision se trouve composé alors, pour ainsi dire, d'un rideau de lumière uniforme provenant du faisceau extraordinaire et d'un système de franges obscures et brillantes, à la formation desquelles ont seulement concouru les rayons ordinaires, et les rayons, par hypothèse, semblablement polarisés du faisceau additionnel. Les propriétés de ces franges, relativement à la polarisation, doivent donc nous apprendre quelles sont celles du faisceau ordinaire, puisque le fait de l'interférence ne les change pas : or, il est évident que la présence du faisceau extraordinaire ne peut aucunement empêcher de déterminer la situation du plan de polarisation des rayons dont les franges sont formées.

Après avoir rapporté les expériences à l'aide desquelles M. Fresnel a démontré l'insuffisance de la théorie de la polarisation mobile, nous devons faire connaître comment il est parvenu à rattacher les couleurs des lames minces à ces mêmes principes des interférences dont il avait

déjà tiré un si heureux parti pour l'explication des phénomènes aussi nombreux que variés de la diffraction.

L'idée que les vives couleurs dont les lames cristallisées se revêtent lorsqu'on les expose à des faisceaux polarisés dépendent de l'interférence des rayons ordinaire et extraordinaire en lesquels la lumière se partage quand elle traverse ces lames, appartient incontestablement au Dr Thomas Young. Peu de temps après la publication du Mémoire dans lequel M. Biot a indiqué la nature des teintes dépolarisées par des lames de cristal de roche parallèles à l'axe et de diverses épaisseurs, le savant secrétaire de la Société royale découvrit qu'à toutes ces épaisseurs et sous toutes les incidences, les couleurs correspondaient précisément aux différences de chemins parcourus par les rayons ordinaire et extraordinaire.

Cet accord remarquable ne pouvait pas néanmoins être regardé comme une preuve démonstrative que l'interférence des rayons était la vraie cause de la coloration des lames, puisque M. Young n'avait pas même essayé d'expliquer dans cette hypothèse plusieurs des circonstances les plus frappantes du phénomène, comme, par exemple, pourquoi l'éclat des teintes varie avec la position de l'axe du cristal et avec celle de la section principale du rhomboïde qui sert à les observer, relativement au plan primitif de polarisation des rayons transmis; pourquoi la lumière polarisée, si l'on examine la lame à l'œil nu, et la lumière non polarisée, alors même qu'on se sert d'un rhomboïde, ne donnent naissance à aucune coloration appréciable, etc.

Quant à M. Fresnel, il a embrassé la question dans

toute sa généralité, et s'est proposé de prouver qu'il n'est pas une seule des lois qu'on a déduites de l'observation sur les phénomènes de polarisation colorée produits par des lames parallèles à l'axe de double réfraction, qui ne soit une conséquence nécessaire de l'interférence des deux faisceaux ordinaire et extraordinaire.

Voyons d'abord comment M. Fresnel parvient à concilier l'expérience par laquelle il prouve que les lames cristallisées partagent la lumière en deux faisceaux polarisés à angles droits, avec ce fait, en apparence si opposé, que si la lame a une épaisseur convenable, l'ensemble des rayons polarisés qui la traversent pourra, à sa sortie, ne sembler polarisé que dans le plan primitif ou dans l'azimut $2i$.

On forme, dans une chambre obscure, un point rayonnant de lumière homogène fort petit par le moyen que nous avons déjà indiqué (p. 409). On reçoit le faisceau de lumière divergente qui part de ce point sur un miroir de verre dont la seconde face est recouverte d'un mastic noir, et qui conséquemment ne réfléchit les rayons qu'à sa surface antérieure. Pour fixer les idées, nous donnerons à ce miroir une position verticale ; nous supposerons de plus que le faisceau divergent est à peu près horizontal et qu'il rencontre la face réfléchissante sous un angle peu éloigné de celui de la polarisation complète.

Ces premières dispositions étant achevées, on place sur la route que suivent les rayons réfléchis par le miroir un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale fasse avec le plan horizontal auquel, par hypothèse, celui de réflexion est parallèle, un angle de 45° : dans cette

position du rhomboïde, la lumière qui le traverse se divise en deux faisceaux, l'un ordinaire, l'autre extraordinaire, polarisés à angles droits et de même intensité. A leur sortie du premier rhomboïde ces deux faisceaux en rencontrent un second de même épaisseur, mais dont la section principale est perpendiculaire à celle du précédent; le faisceau ordinaire émergent y éprouvera donc la réfraction extraordinaire ; réciproquement le faisceau qui était extraordinaire à sa sortie du premier cristal deviendra ordinaire en traversant le second : ces deux nouveaux faisceaux ordinaire et extraordinaire demeurent polarisés à leur émergence, dans le plan de la section principale du second cristal et dans le plan qui lui est perpendiculaire.

Suivons maintenant ces deux faisceaux par la pensée : il est d'abord évident qu'à cause de leur commune divergence ils se croiseront dans une étendue d'autant plus grande qu'on s'éloignera davantage du rhomboïde. Leurs points de départ étant distincts et sensiblement séparés, l'observateur pourra arrêter tour à tour le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire; il éclairera donc, à volonté, un même point de l'espace commun aux deux faisceaux, soit avec l'un, soit avec l'autre de ces rayons pris séparément, soit enfin avec tous les deux à la fois.

Plaçons un verre légèrement dépoli dans une partie du champ commun aux deux faisceaux; marquons par une ouverture très-fine pratiquée dans une lame opaque et adaptée à ce verre le lieu précis vers lequel notre attention va se porter, et servons-nous, comme d'habitude, d'un rhomboïde de spath calcaire pour analyser les

diverses espèces de lumière qui, après avoir traversé la fente du diaphragme, viendront se peindre au fond de l'œil.

Nous reconnaîtrons d'abord aisément que le rayon ordinaire, quand il arrive seul à l'ouverture, quelle que soit d'ailleurs sa place, n'y éprouve aucune modification, et qu'il reste polarisé comme il l'était auparavant; il en est de même du rayon extraordinaire; mais si ces deux rayons, après s'être croisés dans la fente, viennent à travers le rhomboïde se peindre simultanément au fond de l'œil, le phénomène variera d'un point de l'espace à l'autre : ici la lumière composée des deux faisceaux paraîtra avoir conservé la polarisation imprimée aux rayons dans leur première réflexion sur le miroir de verre noirci; plus loin, le plan de polarisation semblera perpendiculaire au précédent, ce qui correspond précisément à l'azimut $2i$, puisque $i = 45°$. Dans un point intermédiaire entre ceux-là, la lumière qui a traversé la fente ne présentera aucune trace appréciable de polarisation. Cette expérience nous offre donc le singulier phénomène de deux faisceaux polarisés à angles droits, qui se croisent d'abord dans l'espace, se réunissent ensuite sur le fond de l'œil et forment, en somme, un faisceau polarisé tantôt dans un sens et tantôt dans un autre, suivant que la différence des chemins parcourus par les deux faisceaux composants a telle ou telle autre valeur.

Nous n'avons employé, dans cette expérience, un verre dépoli que pour fixer les idées, car il n'est aucunement nécessaire à sa réussite. On peut également se passer de la petite fente. La loupe avec laquelle M. Fres-

nel étudiait[1], dans le Mémoire couronné par l'Académie, les jeux d'interférence des rayons diffractés, lui sert également ici à examiner les franges aériennes produites par les rencontres des faisceaux lumineux. Quand on se place, par exemple, avec la loupe en face des deux rhomboïdes croisés, l'œil ne reçoit qu'une lumière uniforme et continue ; mais aussitôt qu'un cristal donnant deux images est convenablement interposé entre la loupe et ces rhomboïdes, ou entre la loupe et l'œil, on aperçoit deux systèmes de franges obscures et brillantes. Les franges claires d'une des images correspondent toujours aux bandes obscures de l'autre. La frange du milieu, par exemple, est brillante dans l'image ordinaire si la section principale du cristal interposé est parallèle au plan primitif de polarisation; alors, au contraire, elle est obscure dans l'image extraordinaire, ce qui prouve que pour cette dernière image on ne peut calculer les effets des interférences qu'en ajoutant $\frac{1}{2}d$ à la différence des chemins parcourus. Mais quand la section principale du cristal interposé est perpendiculaire au plan originaire de polarisation, les rôles se trouvent changés : c'est alors la frange centrale de l'image extraordinaire qui est brillante, conformément aux principes généraux des interférences, tandis que dans l'image ordinaire cette même frange est complétement obscure, comme si la différence de route entre les rayons qui la forment, au lieu d'être nulle, était $\frac{1}{2}d$.

M. Fresnel donné, dans son Mémoire, une règle qui

1. Voir précédemment, p. 376.

s'applique à toutes les positions azimutales que peuvent prendre les sections principales des deux rhomboïdes croisés et celle du cristal placé devant l'œil, relativement au premier plan de polarisation et à l'aide de laquelle on découvre aisément si c'est pour les rayons de l'image ordinaire ou pour ceux de l'image extraordinaire que la quantité $\frac{1}{2}d$ doit être ajoutée à la différence des chemins parcourus.

Dans la lumière homogène, l'expérience a donné naissance à deux systèmes de franges obscures et brillantes. Quand on se sert de lumière blanche, ces franges deviennent colorées, parce que d n'a pas des valeurs égales pour les rayons de différentes nuances, et l'on y remarque les mêmes teintes que la lumière polarisée développe dans les lames cristallisées de toutes les épaisseurs possibles.

Peu de mots vont maintenant nous suffire pour montrer comment M. Fresnel explique la production de ces teintes.

Un rayon polarisé qui traverse une lame cristallisée s'y divise en deux faisceaux polarisés en sens contraires; mais deux faisceaux de cette espèce n'interfèrent point : une lame ne donnera donc pas de couleurs à l'œil nu, lors même qu'elle ne sera éclairée que par de la lumière polarisée.

Chacun des deux faisceaux ordinaire ou extraordinaire provenant de la première lame se partage en traversant un prisme achromatisé ou un rhomboïde en deux faisceaux polarisés à angles droits : parmi les quatre faisceaux émergents, il en est deux ordinaires et deux extraordi-

naires qui peuvent mutuellement s'influencer. Or, dans les deux faisceaux qui concourent à la formation de l'image ordinaire, l'un était ordinaire en traversant la lame, et s'est conservé ordinaire dans le prisme achromatisé, tandis que l'autre, qui était d'abord extraordinaire, n'a passé à l'image ordinaire que par l'action de ce cristal. Les rayons de noms différents ont, dans les cristaux doués de la double réfraction, des vitesses dissemblables. Nous avons vu d'ailleurs que des différences de vitesse produisent, relativement aux phénomènes d'interférences, des périodes exactement pareilles à celles qui résultent de l'inégalité des chemins parcourus. Si donc, dans la lame employée, la différence entre les vitesses des rayons ordinaires correspond à la quantité *d* qui règle par ses multiples les périodes d'accord des rayons rouges, ce sera évidemment la lumière de cette teinte qu'on verra prédominer dans l'image ordinaire; il en sera de même à l'égard des rayons de toutes les autres couleurs.

Si l'expérience des deux rhomboïdes croisés ne nous avait pas prouvé que, pour calculer les actions mutuelles des rayons lumineux qui, en traversant des cristaux doués de la double réfraction, changent plusieurs fois de plan de polarisation, il ne suffit pas des règles ordinaires d'interférences, nous serions arrêtés ici par une grande difficulté. La différence de vitesse étant la même pour les deux rayons dont l'image extraordinaire est formée à sa sortie du prisme achromatisé et pour les rayons de l'image ordinaire, ces deux images paraîtraient devoir être de même couleur; mais si l'on se rappelle qu'il faut

ajouter $\frac{1}{2}d$ à la différence des chemins parcourus par les rayons qui forment l'un des faisceaux, on verra, au contraire, que d correspondant dans l'image ordinaire à l'accord des rayons rouges, $\frac{1}{2}d$ occasionnera leur destruction mutuelle dans l'image extraordinaire; que l'espèce de lumière que donne le blanc quand on en retranche du rouge y dominera, et qu'en somme les deux images de la lame, vues à travers le prisme achromatisé, seront toujours complémentaires : ce qui est conforme aux observations. Les teintes se trouvent ainsi déterminées par les différences de marche entre les rayons ordinaires et les rayons extraordinaires dans l'épaisseur de la lame, comme celles des anneaux colorés ordinaires le sont par la différence de route des rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air. Pour qu'on ne regarde pas ceci comme une simple analogie, nous ajouterons que les différences des chemins parcourus qui correspondent à une teinte déterminée sont exactement les mêmes dans les deux cas.

M. Fresnel explique avec la même facilité toutes les autres circonstances du phénomène : il déduit, par exemple, de sa théorie, les positions de la lame et du prisme achromatisé pour lesquelles on ne voit aucune couleur dans les deux images, et trouve précisément les positions que l'observation a fait connaître; il montre ensuite que les variations d'intensité qui dépendent des positions azimutales du prisme achromatisé ou de la lame, sont des conséquences également nécessaires des principes des interférences, etc.

Pour traiter convenablement la question plus compli-

quée des lames croisées, M. Fresnel résout d'abord le problème général que voici : « Étant données les intensités d'un nombre quelconque de faisceaux lumineux, leurs positions respectives, ou leurs divers degrés d'accords ou de discordances, déterminer l'intensité de la lumière totale. » Les formules auxquelles il parvient par des considérations particulières fondées sur la théorie des ondes, mais qui ne sauraient trouver place ici, sont précisément celles qui lui avaient déjà servi à déterminer la position et l'intensité des bandes diffractées. Ces formules se sont accordées avec les expériences connues. Un seul cas paraissait faire exception, c'est celui où deux lames de même nature, parallèles à l'axe et d'égale épaisseur, ont leurs axes croisés sous l'angle de 45°. M. Biot annonce [1] que si la section principale du rhomboïde de spath calcaire dont on se sert pour analyser la lumière transmise est parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation, la teinte de chaque image reste invariable quand

1. Voici le passage de M. Biot relatif aux lames croisées (*Traité de physique*, t. IV, p. 407) : Les lames étant croisées de manière que leurs axes fassent un angle de 45°, « je laisse, dit M. Biot, ce système exposé perpendiculairement au rayon polarisé qui a servi pour le régler, et j'analyse la lumière transmise en me servant d'un prisme rhomboïdal achromatique dont la section principale soit dirigée dans le plan primitif de polarisation. On trouve alors que la teinte extraordinaire est constante, quelque position que l'on donne aux lames en les tournant dans leur plan... » Plus bas, à la même page 407, M. Biot ajoute : « Les teintes données par les lames égales et croisées à 45° ne sont pas seulement constantes sous l'incidence perpendiculaire; elles le sont encore sous toutes les incidences et dans tous les azimuts, pourvu que le rhomboïde qui sert pour analyser la lumière ait sa section principale parallèle ou perpendiculaire au plan du méridien. »

on fait tourner dans son plan le système des deux lames croisées. Les formules de M. Fresnel indiquaient, au contraire, que chacune des deux images ne pouvait être semblable à elle-même qu'aux azimuts 45°, 90°, 135°, 180°, etc. Dans toutes les positions intermédiaires, elles devaient varier l'une et l'autre : or, vérification faite, il s'est trouvé que les images ordinaires et extraordinaires varient par le mouvement de la lame composée. Ces variations, comme la formule l'indique, sont très-légères relativement à la nature de la teinte; mais quant à l'intensité, il est impossible de les méconnaître si l'on se sert de lumière polarisée homogène.

Les résultats curieux renfermés dans le Mémoire que l'Académie avait renvoyé à notre examen, sont de nouvelles preuves de la persévérance infatigable, de l'exactitude et de la rare sagacité de M. Fresnel; ses expériences occuperont par la suite, quand la théorie des interférences aura reçu de nouveaux développements et sera plus répandue, une place distinguée parmi les plus ingénieux travaux des physiciens modernes; dès à présent elles établissent qu'il y a, non pas seulement de simples analogies, mais la liaison la plus intime entre les phénomènes de coloration des lames cristallisées, le phénomène des anneaux colorés ordinaires et celui de la diffraction. A notre avis, M. Fresnel prouve jusqu'à l'évidence que toutes ces couleurs sont de simples effets d'interférences. Nous ne proposerons pas néanmoins à l'Académie de se prononcer sur une matière aussi difficile, et qui peut-être sera encore entre les physiciens l'objet de beaucoup de contestations : nos conclusions se borneront à demander que l'important

Mémoire de M. Fresnel soit inséré dans le *Recueil des Savants étrangers.*

N. B. Plusieurs années s'étant écoulées entre l'époque de la présentation des Mémoires de M. Fresnel et celle où nous avons fait le rapport précédent dont les conclusions ont été adoptées le 11 juin 1821, nous croyons devoir avertir que le travail renvoyé à notre examen se composait d'un Mémoire lu à l'Académie, le 7 octobre 1816, et d'un supplément qui avait été paraphé par M. Delambre, le 19 janvier 1818. Nous ne parlons pas ici des notes remises par l'auteur aux commissaires en divers temps, quoiqu'elles aient été déposées au secrétariat de l'Institut à la suite de la discussion que le rapport a fait naître, parce qu'elles ne renferment que de simples développements des expériences consignées dans les deux écrits de 1816 et 1818.

XXII

EXAMEN DES REMARQUES DE M. BIOT, RELATIVES AU RAPPORT SUR LE MÉMOIRE DE FRESNEL CONCERNANT LES COULEURS DES LAMES CRISTALLISÉES DOUÉES DE LA DOUBLE RÉFRACTION

[M. Biot a lu à l'Académie des sciences, le 11 juin 1821, un Mémoire intitulé *Remarques sur un Rapport lu le 4 juin 1821 à l'Académie des sciences, par MM. Arago et Ampère.*

Ce Mémoire de M. Biot a été inséré dans le tome XVII des *Annales de chimie et de physique*, alors publiées par MM. Gay-Lussac et Arago.

M. Arago a répondu aux *Remarques* de M. Biot par l'article qui se trouve placé ici.

Pour la clarté de la discussion, quelques-unes des opinions de M. Biot réfutées dans le texte ont été reproduites dans des notes au bas des pages.]

En ne mettant aucun obstacle à la publication des *Remarques* de M. Biot dans les *Annales de chimie et de physique*, je ne me suis pas engagé à les laisser sans réponse. Je vais donc rappeler les objections contenues dans notre rapport, les rapprocher des arguments qu'on leur oppose, et mettre ainsi le lecteur en état de juger par lui-même si elles sont aussi dépourvues de fondement que l'annonce notre savant confrère. J'aurais bien désiré pouvoir me borner à la partie purement scientifique de la discussion ; mais il m'importe de prouver, puisque M. Biot, tout en annonçant qu'il ne s'occuperait point des formes, a prononcé deux fois le mot de *légalité* [1], que le rapport ne renfermait rien d'illégal, et qu'il ne violait, quoi qu'on en dise, aucune des règles généralement établies dans les sociétés savantes.

1. Au commencement de ses *Remarques*, M. Biot s'est exprimé ainsi : « Une discussion s'étant élevée, tant sur le fond de ce Rapport que sur sa forme, l'Académie, d'après la proposition de M. Laplace et de M. Dupin, voulut bien remettre sa décision à la séance suivante pour entendre les observations que je pourrais avoir à présenter. Je lui soumis alors celles que l'on va lire. J'y discutais naturellement le Rapport sous deux points de vue, celui des opinions scientifiques qu'il renfermait et celui de sa conformité aux règles adoptées par les académies pour assurer l'équité et l'impartialité de leurs jugements.

« Mais messieurs les commissaires ayant déclaré qu'ils ne demandaient pas à l'Académie de se prononcer sur le Rapport même, mais

Aussitôt que M. Biot eut manifesté l'intention de répondre au Rapport que nous lûmes devant l'Académie, M. Ampère et moi, le 4 juin 1821, je m'empressai de le lui remettre; j'y joignis, comme pièces à l'appui, les écrits de M. Fresnel dans lesquels tous les arguments dont je m'étais étayé se trouvaient développés. L'un de ces écrits (le Mémoire présenté à l'Académie en 1816) n'était plus complet. J'en prévins M. Biot; je lui fis savoir que la partie qui manquait n'était point relative à ses expériences, qu'elle ne traitait que des modifications apportées par la polarisation aux phénomènes d'interférence, et que je n'avais pu conséquemment y puiser aucune objection contre sa théorie de la polarisation mobile. J'indiquai, de plus, les motifs qui m'avaient imposé l'obligation de séparer la première section du Mémoire de la seconde. Cette première section, du reste, ayant été imprimée depuis longtemps dans les *Annales de chimie* (c'était précisément pour cela qu'on n'avait pas jugé nécessaire de conserver le manuscrit), j'en fis remettre un exemplaire à M. Biot. Je croyais avoir ainsi satisfait à toutes les convenances et prévenu jusqu'à

seulement sur les conclusions qui le terminent, et ayant modifié ces conclusions de manière qu'elles n'exprimaient plus que de justes éloges du travail de M. Fresnel, éloges auxquels j'ai joint moi-même mon suffrage, j'ai supprimé ici la dernière partie de mes remarques qui portait sur la légalité du Rapport, et je n'ai conservé que les considérations scientifiques, seules dignes par elles-mêmes qu'on y attache de l'intérêt. »

A la fin de ses *Remarques* M. Biot a ajouté : « Le reste de ces remarques portant sur la légalité du Rapport considéré sous le point de vue des formes académiques, je l'ai supprimé ici comme étant devenu maintenant inutile depuis que l'Académie a seulement adopté les conclusions du Rapport et non pas le Rapport même. »

l'ombre d'une objection : vains efforts! M. Biot s'est obstiné à soutenir, dans la discussion verbale et dans ses *Remarques* écrites, qu'en ne faisant notre rapport que sur la seconde partie du Mémoire original, nous avions violé, M. Ampère et moi, les règlements de l'Académie. Ce savant physicien oubliait sans doute, quand il nous adressait un reproche aussi peu fondé, que jamais on n'a contesté aux auteurs qui soumettent leurs ouvrages au jugement de l'Académie le droit de les retirer. Ce qui se fait journellement pour un Mémoire tout entier est à plus forte raison applicable à un simple chapitre, à un paragraphe isolé. Un écrit ne devient évidemment la propriété d'une société savante qu'après qu'elle a prononcé sur son mérite; jusque-là l'auteur, éclairé par de nouvelles réflexions ou par les conseils des commissaires, peut le modifier à son gré, et ce serait blesser à la fois l'usage et les convenances que de ne point permettre la rectification d'erreurs qu'on avouerait.

Après avoir ainsi établi, en thèse générale, que M. Fresnel aurait eu le droit de retirer ou de changer une partie quelconque du Mémoire, je dois m'empresser de déclarer que cet habile physicien n'avait rien à rectifier dans son travail; que j'ai fait, moi seul, la suppression dont M. Biot se plaint, et qu'elle était commandée par ces mêmes règlements qu'on nous accuse si légèrement d'avoir violés. M. Biot, qui s'est si fréquemment associé, pour ses recherches scientifiques, des observateurs étrangers à l'Académie, doit savoir mieux que personne qu'on ne rend jamais compte devant elle des travaux auxquels des académiciens ont pris part. La première section du

Mémoire renfermant des expériences que nous avions faites en commun, M. Fresnel et moi, j'ai dû, évidemment, soit pour me conformer à l'usage, soit pour ne pas me constituer juge dans ma propre cause, n'examiner dans le rapport que la section relative aux couleurs des lames cristallisées.

On a parlé de notes sans date. Je réponds que la date n'aurait quelque importance que dans une question de priorité : or, je n'ai pas appris, jusqu'ici, qu'aucune prétention de ce genre se soit élevée à l'égard des expériences de M. Fresnel. Si le cas arrivait par la suite, il me serait facile de prouver que ces notes sont de simples développements du premier Mémoire présenté en 1816. Du reste, je ne les avais volontairement communiquées à M. Biot que pour l'aider dans ses recherches, et j'étais, je l'avoue, bien loin d'imaginer qu'il croirait y trouver le sujet d'un reproche.

M. Biot dit qu'on a puisé des objections dans un Supplément déposé en 1818, et qui ne se rapporte pas au Mémoire principal : le fait est vrai, mais je ne devine pas quelle conclusion il veut en tirer. M. Fresnel a présenté deux Mémoires ; les commissaires chargés de les examiner les avaient d'abord compris l'un et l'autre dans un seul et même rapport. Il leur parut ensuite, tant pour ne pas fatiguer l'attention de l'Académie que pour répandre sur une matière si compliquée toute la clarté possible, qu'il serait plus convenable de séparer les faits relatifs à la polarisation mobile d'une seconde classe de phénomènes qui ne se rattachaient à cette théorie que d'une manière très-éloignée et dont ils se proposaient de rendre compte

séparément. Je ne doute pas qu'il n'y ait là une irrégularité flagrante, puisque M. Biot l'affirme; mais j'avoue que jusqu'ici je n'ai pas eu la satisfaction de l'apercevoir. Ce qui me paraît plus évident, c'est qu'en s'attachant aussi minutieusement aux formes, notre savant confrère fera naître l'idée que les arguments qu'on a opposés à sa théorie lui paraissaient, au fond, beaucoup plus solides qu'il n'a l'air de le reconnaître.

Le long intervalle de temps qui s'est écoulé entre la présentation du Mémoire de M. Fresnel et celle de notre rapport a été aussi l'objet de quelques observations critiques dont il ne m'a pas été possible de deviner le but. J'aurais conçu, par exemple, que M. Biot voulût attribuer les inexactitudes dans lesquelles, suivant lui, nous sommes tombés à la précipitation de notre travail; mais est-il bien naturel, quand on nous accuse d'avoir mal interprété diverses expériences, d'insinuer en même temps que l'examen auquel nous nous sommes livrés n'a pas été assez prompt? Au reste, je n'éprouve aucune répugnance à déclarer ici, comme je l'ai déjà fait devant l'Académie, que les longs retards qu'on nous reproche ont été principalement occasionnés par le désir d'éviter la discussion dans laquelle je me trouve maintenant engagé. Les Mémoires que M. Biot a publiés sur la théorie de la polarisation mobile formeraient plus de deux gros volumes in-4°. Ce n'est certainement pas trop si ces Mémoires établissent, comme on l'a prétendu, que les molécules de lumière, dans leur trajet au travers des cristaux, oscillent sur elles-mêmes à la manière d'un pendule; tandis que le tout pourrait, sans difficulté, être réduit à

une quarantaine de pages si les objections de M. Fresnel sont fondées. Il était donc bien présumable qu'en parlant favorablement du travail de ce jeune physicien nous n'obtiendrions pas l'assentiment de notre savant confrère. Aussi aurais-je tardé longtemps encore peut-être à appeler l'attention de l'Académie sur cet objet, si M. Biot n'avait lui-même, tout récemment, engagé M. Fresnel à me presser de faire le rapport. Je crus alors, je l'avoue, que M. Biot, à qui le Mémoire avait été anciennement communiqué, passait condamnation sur les objections qu'il renferme. Il est aujourd'hui trop évident que j'avais mal interprété sa démarche, mais on conviendra, du moins, que mon erreur était excusable.

Après avoir ainsi répondu aux divers reproches qu'on nous a adressés, pourrai-je, à mon tour, et avant d'entrer dans le fond de la question, discuter quelques expressions de l'écrit qu'on vient de lire. « Les commissaires, dit M. Biot, ayant déclaré dans cette seconde séance qu'ils ne demandaient pas à l'Académie de se prononcer sur le rapport même, mais seulement sur les conclusions qui le terminent, etc. » Les commissaires n'avaient point oublié que l'Académie se prononce uniquement sur les conclusions; jamais ils n'ont réclamé autre chose, et c'est bien gratuitement qu'on leur attribue une prétendue déclaration d'où semblerait résulter qu'à l'origine ils avaient fait des demandes contraires aux usages. Quant à M. Biot, il voulut d'abord, je ne dis pas faire rejeter notre travail, ce qui assurément lui était bien permis, mais obtenir de l'Académie que le titre même de *Rapport* fût rayé. Cette proposition n'ayant eu

aucune suite, M. Biot se borna à demander la suppression de divers passages qu'il indiquait. Je repoussai, comme je le devais, ces nouvelles prétentions, et pour couper court à une discussion qui durait déjà depuis trop longtemps, je fis remarquer que les modifications qu'on réclamait étaient relatives au corps même du rapport, c'est-à-dire à une partie sur laquelle, d'après des usages anciens que l'Académie avait de nouveau sanctionnés dans une occasion toute récente, elle n'aurait pas à se prononcer. Si c'est là ce que M. Biot appelle la déclaration des commissaires, je ferai remarquer qu'il a employé une expression impropre, puisqu'elle tendrait à faire croire que nous avons consenti, M. Ampère et moi, à sortir de la règle commune, ce qui est contraire à la vérité. En faisant une analyse détaillée du Mémoire de M. Fresnel, je remplissais un devoir qui m'avait été imposé. En défendant avec persévérance cet important travail dans le sein même de l'Académie contre les attaques d'un académicien, je croyais rendre un service aux sciences. Sans vouloir deviner quelle décision l'assemblée aurait prise, si ses règlements ne lui avaient pas prescrit de se borner aux conclusions du rapport, je puis dire que la bienveillance dont elle m'honora durant la lecture et pendant la discussion me permettait de croire qu'une critique franche ne lui paraissait pas, comme à M. Biot, une violation des formes académiques. Qui m'aurait donc forcé, dans la seconde séance, au pas rétrograde qu'on m'attribue? Comment, du 4 au 11 juin, mes droits se seraient-ils affaiblis? Dans cet intervalle, il est vrai, on me fit savoir par écrit que si je consentais à retirer le

rapport, on retiendrait les foudres dont j'étais menacé. La paix et la tranquillité sont des biens très-désirables, mais M. Biot doit se rappeler que je ne consentis pas à les acquérir au prix d'une telle concession.

Encore un mot et j'arrive à la partie scientifique de la discussion. Dans cette seconde séance, où M. Biot semble vouloir nous faire jouer, à M. Ampère et à moi, les rôles de pécheurs repentants, nous modifiâmes, dit-il, les conclusions de manière « qu'elles n'exprimaient plus que de justes éloges du travail de M. Fresnel. » Qu'exprimaient donc les conclusions primitives? Le lecteur va en juger.

Conclusions adoptées par l'Académie le 11 juin. — « Les résultats curieux renfermés dans le Mémoire que l'Académie avait renvoyé à notre examen sont de nouvelles preuves de la persévérance infatigable, de l'exactitude et de la rare sagacité de M. Fresnel; ses expériences occuperont par la suite, quand la théorie des interférences aura reçu de nouveaux développements et sera plus répandue, une place distinguée parmi les plus ingénieux travaux des physiciens modernes. Dès à présent elles établissent qu'il y a, non pas seulement de simples analogies, mais la liaison la plus intime entre les phénomènes de coloration des lames cristallisées, le phénomène des anneaux colorés ordinaires et celui de la diffraction. A notre avis, M. Fresnel prouve jusqu'à l'évidence que toutes ces couleurs sont de simples effets d'interférence. Nous ne proposerons pas néanmoins à l'Académie de se prononcer sur une matière aussi difficile et qui, peut-être, sera encore entre les physiciens

l'objet de beaucoup de contestations : nos conclusions se borneront à demander que l'important Mémoire de M. Fresnel soit inséré dans le *Recueil des Savants étrangers.* »

Conclusions lues à la séance du 4 juin. — « Le Mémoire dont nous venons de rendre compte à l'Académie montre d'une manière incontestable le mode de production des couleurs que développent les lames cristallisées douées de la double réfraction, lorsque, après les avoir exposées à un faisceau polarisé, on dissèque les rayons transmis avec un rhomboïde de spath calcaire ou à l'aide d'un prisme achromatisé. M. Fresnel établit aussi qu'il y a, non pas seulement de simples analogies, mais la liaison la plus intime entre ces phénomènes et ceux des anneaux colorés ordinaires et de la diffraction. Les expériences difficiles, nombreuses et variées, sur lesquelles les résultats s'appuient, sont une nouvelle preuve de la persévérance infatigable, de l'exactitude et de la rare sagacité de M. Fresnel. Il nous semble que ces expériences occuperont par la suite, quand la théorie des interférences aura reçu de nouveaux développements et sera plus répandue, une place distinguée parmi les plus importants travaux des physiciens modernes. Nous proposerons conséquemment à l'Académie de donner son approbation au Mémoire qu'elle avait renvoyé à notre examen et de décider qu'il sera imprimé dans le *Recueil des Savants étrangers.* »

Dans cette rédaction nous proposions à l'Académie de se prononcer sur le mérite du Mémoire, de lui donner son approbation. Nous pensions alors que la question

serait l'objet d'une discussion contradictoire. Or, telle est, suivant nous, la netteté des expériences de M. Fresnel, telle est l'évidence des conclusions qu'il en tire, que nous espérions faire partager notre persuasion à ceux-là même qui se sont le moins occupés d'optique.

Dès les premiers mots de la réplique verbale de M. Biot, il me fut démontré que le débat auquel je m'attendais n'aurait aucun résultat et qu'il porterait plutôt sur ce qu'on appelait des irrégularités de forme que sur le fond même de la question.

N'ayant jamais eu, M. Ampère et moi, la prétention de faire adopter sur parole des résultats contestés par un physicien du mérite de M. Biot, nous modifiâmes aussitôt nos conclusions de manière que l'Académie n'eût plus à se prononcer que sur les justes éloges auxquels M. Fresnel avait droit. Le lecteur aura remarqué que, tout en faisant ces modifications, nous donnâmes plus de force à l'expression de la conviction personnelle où nous étions que la théorie de la polarisation mobile est erronée. Il reste à examiner si les nouvelles *Remarques* de M. Biot nous forceront d'apporter quelques changements à notre première opinion.

En lisant les *Remarques* de M. Biot, je me suis involontairement rappelé le petit jeu de société connu sous le nom de *propos interrompus* et dans lequel, comme on sait, il faut répondre au hasard à une question qu'on n'a pas entendue. J'ai montré l'inexactitude de la théorie de la polarisation mobile par des expériences directes, positives : on m'oppose une grande dissertation sur la théorie newtonienne des accès dont je n'ai pas dit un seul mot.

Si j'examine la question du sens de polarisation dans les lames minces, on répond que des formules empiriques, dont je n'ai parlé ni en bien ni en mal, représentent exactement la succession des couleurs. M. Biot ajoute, ce que je n'ai point contesté, que ses ouvrages ont pu être de quelque secours à M. Fresnel; qu'il possède même des écrits dans lesquels on lui rendait cette justice, etc., etc. Je ne m'enfoncerai pas dans de telles digressions; car, outre que je n'en devine pas bien le but, elles auraient évidemment pour effet d'obscurcir la question. J'ai rapporté plusieurs expériences qui me paraissaient en opposition manifeste avec la théorie de la polarisation mobile; rappelons-les et voyons comment on y répond.

M. Biot dit clairement, dans dix endroits différents de ses ouvrages, qu'un rayon polarisé, de lumière simple, qui traverse une lame mince cristallisée, douée de la double réfraction, est polarisé tout entier à sa sortie ou dans le plan primitif ou dans l'azimut $2i$. M. Fresnel a contesté l'exactitude de ce principe; M. Biot a persisté dans son opinion pendant la discussion verbale devant l'Académie et il attribuait ce qu'il appelait notre méprise au défaut d'homogénéité de la lumière transmise par le verre coloré dont nous nous servions. Aujourd'hui, dans ses *Remarques*, il déclare [1] que « il n'est pas étonné de

1. M. Biot s'est exprimé en ces termes : « Si l'élargissement des anneaux simples est peu considérable, ou si même, avec une plus grande extension d'anneaux, la lumière simple de chaque couleur se trouve, à son entrée dans le milieu, inégalement répartie entre toutes les phases de l'accès commun de transmission, de manière que le plus grand nombre des particules lumineuses se trouve alors vers le milieu de cet accès, et que les autres soient distribuées

voir qu'un faisceau lumineux homogène transmis, dans certains cas, à travers ces lames (minces) se partage et se répartisse progressivement entre les deux sens de polarisation que l'on y observe; » ce qui revient à dire qu'il

dans les autres phases du même accès, suivant une progression rapidement décroissante, dans ce cas, quoique la réflexion pût s'opérer, ou s'opérât en effet, sur quelque molécule presque dès l'origine du milieu, et se continuât de même sur d'autres molécules plus longtemps que dans les anneaux colorés produits par des forces réfléchissantes peu énergiques, cependant, à cause du petit nombre de ces molécules extrêmes, les teintes composées, réfléchies et transmises, différeraient encore très-peu de la table de Newton, de sorte que la différence des unes et des autres pourrait n'être pas aperçue, surtout si on ne la soupçonnait pas. L'unique moyen de découvrir cette différence serait donc d'étudier directement les intensités des anneaux réfléchis et transmis dans les diverses phases de leurs progrès, en les formant avec une lumière rigoureusement homogène. Il faudrait ensuite appliquer le commencement de la réflexion et de la transmission de chaque molécule à son origine propre, déterminée par la phase particulière de l'accès de transmission où elle se trouve immédiatement après son entrée dans le milieu réfringent; après quoi il ne resterait plus qu'à appliquer périodiquement et indéfiniment à chaque molécule, à partir de cette origine, les alternatives rigoureusement égales d'accès qui conviennent à sa réfrangibilité propre. Or, c'est ainsi, et précisément ainsi, que l'on doit, à ce qu'il me semble, analyser les alternatives de polarisation qui s'observent dans les lames cristallisées, et alors on ne sera pas étonné de voir *qu'un faisceau lumineux homogène transmis, dans certains cas, à travers ces lames, se partage et se répartisse progressivement entre les deux sens de polarisation que l'on y observe*, comme M. Fresnel l'objecte contre l'idée d'une polarisation intermittente et alternative. C'est que cette lumière, même lorsqu'on la suppose rigoureusement identique dans sa nature, n'a pas toutes ses particules, à leur entrée dans les lames, exactement dans la même phase d'accès; d'où il suit que les unes commencent leurs alternatives de polarisation plus tôt et les autres plus tard, selon cet état, en sorte que l'intermittence n'a pas lieu et ne peut pas avoir lieu pour le faisceau total qu'elles composent, mais seulement pour chacune d'elles individuellement. »

n'est pas étonné que M. Fresnel ait raison. Quant à moi, si je m'étonne ici de quelque chose, c'est de la grande modestie de M. Biot. Avant de croire qu'un physicien aussi habile était tombé dans une telle erreur, il m'avait paru nécessaire, je l'avoue, de répéter ses expériences un grand nombre de fois, et ce n'est pas sans beaucoup d'hésitation que je me suis enfin rendu à l'évidence des faits. Aussi, en prenant acte, dans l'intérêt des sciences, de l'aveu que je viens de transcrire, je serai de bonne composition sur l'obscurité dont on l'a enveloppé. Je ne relèverai pas non plus les tentatives qu'on a faites pour insinuer qu'en énonçant la loi de l'azimut $2i$, on entendait parler d'une molécule isolée, et non pas d'un rayon : cette version tardive n'obtiendrait d'ailleurs aucun crédit auprès des personnes qui ont eu l'occasion de remarquer avec quels minutieux détails toutes les expériences de polarisation ont été rapportées dans les ouvrages de M. Biot et quelle clarté cet écrivain distingué sait répandre, quand il le veut, sur les théories les plus difficiles.

En parlant, dans le Rapport, des formules que M. Fresnel a données pour représenter les successions variées de couleurs qu'offrent les lames cristallisées, j'ai dû, pour prévenir toute objection, faire remarquer que l'opposition qui existait entre ces formules et une expérience de M. Biot, dans le cas des lames croisées, tenait uniquement à l'inexactitude de l'expérience. Comme on avoue aujourd'hui cette inexactitude [1], j'accorderai très-volon-

1. M. Biot s'exprime en ces termes : « On a élevé, dans le Rapport, une autre objection contre les lois de la polarisation mobile, laquelle est tirée d'une opposition qui aurait lieu entre ces lois et

tiers que M. Biot l'avait lui-même reconnue il y a plusieurs années, pourvu qu'il veuille convenir qu'elle n'est pas encore rectifiée dans ses ouvrages imprimés.

Parmi tous les reproches que M. Biot m'adresse, il en est un que j'aurais vivement senti s'il était mérité; je veux parler des inexactitudes qu'il annonce avoir remarquées dans le Rapport, « relativement à l'ordre historique dans lequel les travaux successifs y sont présentés ». Mais où peut être le fondement d'un tel reproche? Les expériences de M. Fresnel, que j'ai rapportées, étant la critique directe des expériences de M. Biot, personne, ce me semble, ne pouvait douter que celles-ci n'eussent l'antériorité! Je suis prêt, du reste, à donner à cet égard toutes les satisfactions qu'on pourra désirer. Pour le prouver, je transcrirai ici quelques détails historiques relatifs à l'expérience des lames croisées qui d'abord m'avaient paru inutiles, mais où l'on verra aujourd'hui la preuve de ma bonne volonté.

M. Biot, si je ne me trompe, a parlé pour la première fois de cette expérience dans un Mémoire lu à l'Académie le 1er janvier 1813, et imprimé en 1814 dans l'ouvrage intitulé : *Recherches expérimentales et mathématiques sur les mouvements des molécules de lumière autour de leur*

l'expérience, dans le cas où la lumière est transmise à travers deux lames de chaux sulfatée égales, ayant leurs axes croisés l'un avec l'autre sous l'angle de 45°. Il y a plusieurs années que je me suis expliqué avec M. Fresnel sur cette opposition apparente. *Elle tient à une application inexacte que j'avais faite, dans cette circonstance, des lois mêmes que j'avais trouvées.* En rectifiant cette application, je me suis assuré depuis longtemps que mes formules donnent, dans ce cas, les mêmes variations d'intensité que M. Fresnel avait remarquées. »

centre de gravité. A la page 285 de cet ouvrage, je trouve que les teintes données par deux lames d'égale épaisseur, croisées sous l'angle de 45°, ne devaient, d'après la théorie, éprouver aucun changement quand on faisait tourner le système dans son plan. L'expérience montrait des changements sensibles : M. Biot le reconnaît, mais il les présente comme des anomalies dont la cause ne lui est pas bien connue. En 1816, cette opposition entre la théorie et l'expérience n'existait plus, la théorie avait raison, le mouvement des lames laissait les teintes constantes, les anomalies avaient entièrement disparu (voyez le *Traité de physique*, t. IV, p. 407); maintenant qu'on a reconnu l'imperfection des formules, les changements de teintes non-seulement existent (ce qui était nié en 1816), mais ils sont réels et ne tiennent plus aux imperfections de l'expérience, comme on le supposait en 1813. Je me trompe peut-être, mais il me paraît, même aujourd'hui, que de tels détails historiques ne devaient point entrer dans un rapport fait devant l'Académie. N'est-il pas d'ailleurs évident qu'ils sont plutôt contraires que favorables à la théorie de la polarisation mobile et que s'ils prouvent quelque chose, c'est seulement la grande mobilité d'idées de M. Biot?

Le Mémoire de M. Fresnel renferme une expérience capitale, d'où me paraît résulter mathématiquement la conséquence que les lames minces agissent sur la lumière comme les cristaux épais, et la partagent constamment en deux faisceaux polarisés à angles droits. Si ce fait est exact, la théorie de la polarisation mobile ne l'est pas; car jamais opposition entre un système et l'expérience

n'a été plus manifeste. Dans une réfutation du Rapport, qui embrasse près de trente-quatre pages et où l'on remarque tant de digressions, M. Biot n'aurait-il pas dû montrer, au moins en quelques lignes, comment il concilie le mode de production des couleurs qu'il a indiqué, avec l'existence constante, dans les cristaux de toutes les épaisseurs, de deux faisceaux polarisés perpendiculairement? Toujours est-il certain que nous sommes en droit, M. Ampère et moi, de déclarer, même après la publication des *Remarques* de M. Biot, que toutes nos objections subsistent.

M. Biot a joint à ses *Remarques* une longue note destinée à prouver que les formules du Mémoire ne représentent pas exactement les couleurs des anneaux colorés ordinaires. Cette note n'étant point relative à notre Rapport, je n'ai pas besoin de m'en occuper : M. Fresnel, qu'elle regarde, y répondra. Je pourrais même à la rigueur me dispenser tout à fait de parler des formules, puisque ce n'était pas là l'objet en discussion; mais il m'est impossible de ne point signaler, comme je l'ai déjà fait devant l'Académie, le singulier moyen que M. Biot emploie pour prouver que ses formules sont identiques avec celles de M. Fresnel.

L'expression algébrique que donne M. Biot pour le rayon ordinaire se compose[1] d'un premier terme en $\cos^2\alpha$

1. Les formules données par M. Biot pour l'intensité de l'image ordinaire F_o et pour celle de l'image extraordinaire F_e, sont les suivantes :

$$F_o = O\cos^2\alpha + E\cos^2(\alpha - 2i),$$
$$F_e = E\sin^2\alpha + E\sin^2(\alpha - 2i),$$

i étant l'angle formé par la section principale de la lame mince

et d'un second terme en $\cos^2(\alpha-2i)$; les coefficients O et E, qui multiplient ces cosinus, sont ce que **M. Biot** appelle des *faits*[1] : on calcule leur valeur, pour chaque cas particulier, à l'aide de la Table des anneaux colorés de Newton. La formule de M. Fresnel renferme, comme la précédente, quand on la développe, des termes en $\cos^2\alpha$ et $\cos^2(\alpha-2i)$, mais leurs coefficients sont des expressions analytiques, fonctions de quantités qui déterminent les propriétés optiques des lames et celles des rayons colorés. Que fait maintenant M. Biot[2]? Il représente ces

avec la direction de la polarisation primitive et α l'angle de la section principale du prisme avec cette même direction de la polarisation.

1. M. Biot dit : « Il y a toutefois une différence essentielle à faire entre les formules de M. Fresnel et les miennes : c'est que les coefficients O, E, dans mes formules, sont des faits; au lieu que dans les siennes, ce sont des expressions hypothétiques. »

2. M. Biot s'exprime en ces termes : « Les intensités F_o, F_e, des deux images, ordinaire et extraordinaire, données par chaque espèce de lumière simple, sont, suivant M. Fresnel, exprimées par les formules suivantes :

$$F_o = \cos^2\alpha - \sin 2i \sin 2(i-\alpha)\sin^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right),$$

$$F_e = \sin^2\alpha + \sin 2i \sin 2(i-\alpha)\sin^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right);$$

$o-e$ désigne la différence des longueurs des trajets parcôurus dans la lame cristallisée par les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire, qui interfèrent ensemble; et λ est la longueur d'une ondulation pour l'espèce de lumière qui les forme, longueur que, dans ce système, on suppose exactement quadruple de celle que Newton a assignée aux intermittences de réflexion et de transmission qu'il a appelées accès. En effectuant les valeurs des termes

$$\sin^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right) \quad \text{et} \quad \cos^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

pour toutes les espèces de rayons qui composent le spectre, la somme des F_o et des F_e exprimera la composition et l'intensité to-

deux coefficients par O et par E, c'est-à-dire par les deux lettres dont il s'était déjà servi, et en tire la conclusion que ses formules et celles de M. Fresnel coïncident! J'accorde volontiers que le moyen (je ne dis pas la formule) donné par M. Biot pour déterminer la couleur des lames est exact : cela tient uniquement à ce que, dans chaque cas, on va chercher la teinte initiale dans la Table de Newton. Mais, pour établir que les deux formules sont identiques, il aurait fallu, ce me semble, les ramener l'une à l'autre par de simples transformations et retrouver ainsi précisé-

tale des deux teintes dans lesquelles devra se décomposer un rayon blanc, après avoir traversé la lame cristallisée et s'être décomposé dans le prisme de chaux carbonatée qui sert pour analyser sa polarisation. Or, dans chacune de ces expressions partielles, on peut substituer au produit $\sin 2i \sin 2(i-\alpha)$, la valeur équivalente

$$\cos^2\alpha - \cos^2(\alpha - 2i) \quad \text{ou} \quad \sin^2(\alpha - 2i) - \sin^2\alpha;$$

et alors les valeurs de F_o et F_e deviennent :

$$F_o = \cos^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right)\cos^2\alpha + \sin^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right)\cos^2(\alpha-2i),$$

$$F_e = \cos^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right)\sin^2\alpha + \sin^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right)\sin^2(\alpha-2i).$$

D'après cela, si l'on représente par O la somme des valeurs de

$$\cos^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right)$$

et par E la somme des valeurs de

$$\sin^2\pi\left(\frac{e-o}{\lambda}\right),$$

relatives à tous les rayons du spectre, on aura, lorsque la lumière incidente sera blanche,

$$F_o = O\cos^2\alpha + E\cos^2(\alpha-2i),$$
$$F_e = O\sin^2\alpha + E\sin^2(\alpha-2i).$$

« Ces expressions sont absolument identiques avec celles que nous avons obtenues pour la lumière blanche, d'après la considération directe des phénomènes. »

ment les mêmes termes. J'expliquerai plus nettement ma pensée en prenant un exemple dans les propres ouvrages de M. Biot.

Si l'on représente par i l'angle que fait l'aiguille aimantée avec l'horizon et par λ la latitude magnétique, on trouve que ces deux quantités sont liées entre elles par la formule :

$$\text{tang}\,(i+\lambda) = \frac{\sin 2\lambda}{\cos 2\lambda - \frac{1}{3}}.$$

Cette formule est de M. Biot.

A l'aide de transformations purement analytiques que, par des raisons que j'ignore, ce célèbre physicien n'a pas voulu faire, un géomètre américain, M. Bowditch, a ramené l'expression précédente à la formule :

$$\text{tang}\, i = 2\, \text{tang}\, \lambda.$$

Dans ce cas-ci, on peut dire en toute rigueur que les deux formules sont identiques, quoique la seconde soit à la fois plus simple et plus élégante que l'autre ; mais la discussion à laquelle M. Biot s'est livré sur les formules de polarisation n'est évidemment pas de ce genre, puisque toutes ses transformations se réduisent, en dernier résultat, à substituer les deux lettres O et E aux coefficients complexes de la formule de M. Fresnel.

XXIII

RAPPORT SUR UN MÉMOIRE DE FRESNEL, RELATIF A LA DOUBLE RÉFRACTION [1]

Beaucoup de cristaux jouissent, comme on sait, de la propriété singulière de partager en deux faisceaux distincts chaque pinceau lumineux qui les traverse. Les physiciens, pendant longtemps, ne s'étaient pas accordés entre eux sur les lois mathématiques d'après lesquelles s'effectue cette bifurcation. Mais tous, sans exception, avaient admis qu'une moitié de la lumière incidente se réfracte dans le cristal suivant le principe découvert par Descartes, et ils désignaient cette moitié par le nom de faisceau ordinaire. L'objet principal du Mémoire de M. Fresnel est de montrer que, dans certains cristaux qu'on appelle à deux axes, il n'y a point de rayon ordinaire proprement dit, ou, en d'autres termes, qu'aucune portion de la lumière qui les traverse ne s'y réfracte, en général, suivant la loi du sinus.

Avant de présenter l'analyse de l'important travail de M. Fresnel, il ne sera peut-être pas inutile de rappeler qu'il y a, dans tous les cristaux doués de la double réfraction, des directions particulières suivant lesquelles il ne se forme pas de double image. Ces directions portent le nom d'axes. Dans certains cristaux, comme, par exemple, le carbonate de chaux, le quartz, etc., etc., on ne trouve

1. Rapport fait à l'Académie des sciences le 19 août 1822, au nom d'une commission composée de MM. Fourier, Ampère et Arago, rapporteur.

qu'un seul axe. Dans d'autres, tels que la topaze, on en reconnaît deux. Personne jusqu'ici n'a vu de cristaux à trois axes et il est même fort douteux qu'il en existe de tels.

On n'a découvert jusqu'à présent que deux méthodes distinctes pour mesurer la puissance réfractive des corps. Dans l'une, que presque tous les physiciens ont pratiquée, on suit les rayons dans les déviations qu'ils éprouvent en traversant des prismes. On en déduit pour une inclinaison donnée les angles d'incidence et de réfraction et par suite le rapport des sinus. Dans la seconde, beaucoup moins connue, on détermine directement le changement de vitesse qu'éprouve le rayon en passant du vide dans le milieu. Mais quel que soit le système qu'on adopte sur la nature de la lumière, ces deux déterminations rentrent l'une dans l'autre. L'auteur du Mémoire s'étant presque exclusivement servi de la seconde méthode, nous rappellerons ici, sinon les principes sur lesquels elle se fonde, du moins le système d'opérations qu'elle nécessite.

On adapte au volet de la chambre obscure une lentille à court foyer sur laquelle un miroir extérieur, celui d'un héliostat, par exemple, envoie horizontalement les rayons solaires. Après avoir formé ainsi un point rayonnant, on fait tomber la lumière qui en émane sur deux fentes très-fines pratiquées dans une lame métallique. Chaque fente éparpille la lumière qui la traverse. Les deux pinceaux dilatés se croisent alors derrière l'écran et donnent naissance, par leur interférence, à un système de franges alternativement brillantes et obscures. La frange centrale est toujours brillante; elle résulte de la réunion

de deux rayons qui ont parcouru des chemins parfaitement égaux, ces chemins étant comptés à partir du foyer de la lentille.

Si, sans rien changer aux dispositions précédentes, on place, sur la route parcourue par les rayons, devant ou derrière chacune des fentes, des lames diaphanes de même épaisseur et de même réfringence, les franges resteront immobiles : elles se déplaceront au contraire dès l'instant où les deux milieux interposés quoique d'égale épaisseur différeront en pouvoirs réfractifs. La quantité de ce mouvement mesurée avec le micromètre conduira par un calcul très-simple à la détermination du rapport des sinus dans les deux lames interposées. Le moyen s'applique avec une égale facilité aux faisceaux soit ordinaires, soit extraordinaires. C'est peut-être une singularité de cette méthode qui n'est pas indigne de remarque, qu'elle puisse fournir la mesure des pouvoirs réfractifs par l'observation de rayons qui ne se réfractent point et traversent les corps en ligne droite.

Appliquons maintenant ce procédé à un cas particulier. Veut-on savoir, par exemple, si la topaze a la même réfringence dans deux directions données? On la sciera d'abord, suivant ces deux directions, comme l'a fait M. Fresnel, en lames à peu près parallèles auxquelles on donnera la même épaisseur en les travaillant ensemble. Il ne restera plus ensuite qu'à les appliquer l'une et l'autre sur les deux fentes de l'écran, de manière toutefois que chaque lame ne couvre qu'une fente. Or, dans ce cas-ci, les franges, quel que soit le sens des coupes, n'occuperont presque jamais la même place avant et après l'interpo-

sition des lames. En comparant deux sections particulières, que M. Fresnel fait connaître, et qui lui avaient été indiquées d'avance par sa théorie, le déplacement s'est élevé dans les expériences jusqu'à 20 franges. L'incertitude de l'observation n'était pas d'une demi-frange. Il est donc démontré, tout singulier que ce résultat puisse paraître, que dans la topaze et à l'égard de ces rayons que jusqu'ici on avait appelés ordinaires, le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction n'est pas constant.

Quoique les principes sur lesquels M. Fresnel s'est appuyé dans ses expériences soient maintenant au nombre des vérités les plus incontestables de l'optique, on a pensé qu'il serait utile de s'assurer des variations de réfraction dont nous venons de parler, par une méthode plus directe, c'est-à-dire par l'observation immédiate de la déviation des images. L'auteur s'est prêté avec empressement à ce moyen de vérification et nous a montré des prismes de même angle qui, taillés en divers sens dans une topaze, ne réfractaient pas également les rayons ordinaires. En choisissant les coupes particulières qui avaient donné le plus grand déplacement des franges dans les expériences de diffraction et travaillant simultanément les deux prismes sous un angle commun de $92° \frac{1}{2}$, M. Fresnel a exécuté un petit appareil où la différence des déviations des rayons ordinaires est tellement manifeste, qu'elle n'échapperait pas à l'œil le moins exercé.

On doit à MM. Brewster et Biot un grand nombre d'expériences très-précises sur les cristaux à deux axes; mais ces habiles physiciens n'ont pas découvert la véritable loi des déviations absolues des rayons, puisqu'ils

supposent constamment l'un et l'autre que, sous des inclinaisons égales, la réfraction du faisceau ordinaire est la même quel que soit le sens des coupes. Suivant M. Fresnel, tous les phénomènes de la double réfraction dans les cristaux à deux axes peuvent être prévus et calculés à l'aide d'un ellipsoïde à trois axes et d'après la construction dont voici l'énoncé.

Deux rayons, l'un ordinaire, l'autre extraordinaire, se meuvent dans un cristal suivant une direction unique et l'on veut connaître leurs vitesses. Pour cela, il faut considérer un point quelconque de cette direction comme le centre d'un ellipsoïde à trois axes inégaux. On mène ensuite par ce centre un plan perpendiculaire à la direction commune des deux rayons. Les moitiés du grand et du petit axe de la section elliptique faite par ce plan dans la surface représentent les deux vitesses de propagation, si l'on adopte le système des ondes, et l'unité divisée par ces mêmes vitesses dans le système de l'émission. Quant aux plans de polarisation des deux faisceaux, ils sont respectivement perpendiculaires aux demi-axes de l'ellipse qui représentent les vitesses.

Telle est la loi donnée par M. Fresnel. Examinons d'abord dans quelques cas particuliers si les conséquences qui s'en déduisent s'accordent avec les faits.

Un ellipsoïde à trois axes inégaux peut être coupé suivant un cercle par deux de ses plans diamétraux. Il doit donc y avoir, en général, dans les cristaux, deux directions perpendiculaires à ces plans, suivant lesquelles les rayons ordinaire et extraordinaire auront respectivement les mêmes vitesses et marcheront sans se séparer.

Telles sont, en effet, les propriétés des deux axes de la topaze et de tous les cristaux semblables.

Quand l'ellipsoïde est de révolution, les deux sections circulaires dont nous venons de parler se confondent avec le plan de l'équateur et les deux directions sans double réfraction se réduisent à une direction unique parallèle dans tous les points à l'axe de révolution de la surface. Toute section elliptique faite par un plan diamétral quelconque a son grand axe ou son petit axe constant et situé dans le plan de l'équateur. Un des deux faisceaux réfractés devra donc conserver la même vitesse dans tous les sens et sous toutes les inclinaisons, pendant que celle de l'autre variera : nous étions en effet rentrés, par notre supposition, dans le cas, traité par Huygens, des cristaux à un seul axe.

On voit enfin que si les trois axes de l'ellipsoïde devenaient égaux entre eux, il n'y aurait plus dans aucune direction, ni inégalité de vitesse, ni double image, ni polarisation. C'est ce qu'on observe, en effet, dans la plupart des corps diaphanes.

Passons maintenant à des épreuves plus délicates. Si la loi donnée par M. Fresnel est exacte, les deux axes d'un cristal étant connus, ainsi que l'énergie de sa double réfraction, on pourra déterminer les directions particulières dans lesquelles les rayons ordinaires auront les vitesses les plus inégales et assigner la valeur de la différence; en outre, le plan qui contient ces deux directions a la singulière propriété que les rayons extraordinaires s'y meuvent également vite. Sur ces trois points, l'expérience s'est parfaitement accordée avec la théorie.

Il résulte des nombreuses expériences de MM. Brewster et Biot que la différence des carrés des vitesses de deux rayons, l'un ordinaire et l'autre extraordinaire, qui se meuvent dans un cristal suivant une même direction, est proportionnelle au produit des sinus des angles formés par cette direction avec les deux axes. La construction de M. Fresnel conduit à la même loi, et comme l'écartement des deux images ne dépend sensiblement que de la différence des vitesses, cette construction se trouve appuyée, sous ce rapport, par une grande masse de mesures de déviations angulaires. Ces mesures, il est vrai, ne peuvent pas servir seules à calculer les réfractions absolues des rayons et elles reposent sur la supposition inexacte que le faisceau ordinaire se meut toujours dans le cristal avec la même vitesse; mais, combinées avec les observations faites par l'auteur sur les inégalités des réfractions de ce faisceau, elles fournissent des vérifications expérimentales très-précieuses et auxquelles la loi donnée par M. Fresnel satisfait sans exception.

Quant aux directions relatives des rayons incidents et réfractés, elles sont rigoureusement déterminées par la condition du chemin parcouru dans le temps le plus court, si on prend les vitesses proportionnelles aux deux demi-axes de la section elliptique, ou par le principe de la moindre action, quand on adopte les rapports inverses pour ces mêmes vitesses.

Le Mémoire dont nous venons de présenter l'analyse renferme un chapitre fort étendu dans lequel M. Fresnel expose ses idées théoriques sur le genre particulier d'ondulations qui, suivant lui, constituent la lumière. Le temps

ne nous a pas encore permis de l'examiner avec toute l'attention nécessaire; il nous serait donc impossible d'émettre aujourd'hui à ce sujet une opinion arrêtée. La commission pourra y revenir dans une autre circonstance; mais elle a cru ne pas devoir tarder davantage à faire connaître un travail dont la difficulté est attestée par les efforts infructueux de plusieurs habiles physiciens et où brillent au même degré le talent des expériences et l'esprit d'invention. Nous pensons que l'Académie doit accorder à M. Fresnel un nouveau témoignage de sa satisfaction et faire imprimer le plus tôt possible l'important Mémoire dont nous venons de lui rendre compte dans le ***Recueil des Savants étrangers***.

XXIV

SUR LA LOI DU CARRÉ DU COSINUS, RELATIVE A L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE POLARISÉE TRANSMISE PAR UN CRISTAL DOUÉ DE LA DOUBLE RÉFRACTION

[On a vu précédemment (p. 150) que le Mémoire sur la loi du carré du cosinus communiqué à l'Académie des sciences le 5 août 1833 par M. Arago n'avait pas encore été imprimé. Dans son premier Mémoire sur la photométrie, M. Arago a invoqué (p. 170) la publication par extraits que M. Babinet avait faite de ce travail dans la traduction française du *Traité de la lumière* de sir John Herschel, qui est due à MM. Quetelet et Werhulst, et qui a paru à la fin de 1833. Le précis de M. Babinet constituant une prise de date pour M. Arago, doit trouver place ici.

Le photomètre de M. Arago construit par Gambey et

qui se trouve décrit dans le deuxième Mémoire sur la photométrie (p. 196 à 202), avait été vu dès 1833 par M. Quetelet, qui l'a signalé dans le Supplément de l'ouvrage de sir John Herschel et a cité à cette occasion un résumé du Mémoire sur la loi du carré du cosinus, publié dans le journal *le Temps* quelques jours après la séance de l'Académie des sciences.

M. Quetelet s'exprime ainsi à la page 369 du tome II du *Traité de la lumière :*

« J'ai vu, il y a peu de temps, à Paris, entre les mains de M. Arago, un instrument construit par M. Gambey et destiné à mesurer la lumière des étoiles. Je regrette de ne pouvoir en indiquer la construction; je dois me borner à citer ici ce que ce savant physicien a fait connaître lui-même à l'Académie des sciences, dans sa séance du 5 août 1833 :

« M. Arago remarque, en commençant son Mémoire, qu'au milieu des progrès brillants et inespérés que l'optique a faits depuis un tiers de siècle, une seule branche de cette science, celle qui traite de la mesure des intensités, celle qu'on a désignée sous le nom de *photométrie*, est restée à peu près stationnaire. Suivant lui, les moyens dont Bouguer, Lambert, Rumford firent usage, manquent entièrement de précision. M. Arago travaille depuis quelques années à remplir cette lacune de l'optique, ne fût-ce, dit-il, qu'à raison des applications multipliées dont les méthodes photométriques paraissent susceptibles.

« L'objet principal de son Mémoire était aujourd'hui « la loi d'après laquelle un faisceau de lumière polarisée

« se partage entre l'image ordinaire et l'image extraordi-« naire, quand ce faisceau traverse un cristal doué de la « double réfraction. » La connaissance de cette loi, outre son importance sous le rapport théorique, conduirait très-simplement à la solution d'un grand nombre de questions astronomiques très-curieuses. M. Arago signale, entre autres, les comparaisons de l'intensité lumineuse de la portion de la Lune que les rayons solaires éclairent directement avec celle de la partie du même astre qui reçoit seulement les rayons réfléchis par la Terre. Il croit, d'après les expériences qu'il a déjà tentées à cet égard, qu'on pourra, avec les instruments perfectionnés dont il espère faire bientôt usage, saisir dans la lumière cendrée les différences de l'éclat plus ou moins nuageux de l'atmosphère de notre globe. Il n'est donc pas impossible, malgré tout ce qu'un pareil résultat exciterait de surprise au premier coup d'œil, qu'un jour les météorologistes aillent puiser dans l'aspect de la Lune des notions précieuses sur l'état moyen de diaphanéité de l'atmosphère terrestre dans les hémisphères qui successivement concourent à la production de la lumière cendrée.

Après avoir aussi indiqué tout le parti qu'on pourra tirer de la loi de polarisation cherchée pour perfectionner les observations si importantes des éclipses des satellites de Jupiter, M. Arago a passé à l'explication détaillée des méthodes dont il propose de faire usage pour arriver expérimentalement, et dans tous les cas, à la connaissance des intensités comparatives des rayons ordinaire et extraordinaire. Ces méthodes sont entièrement nouvelles; il serait impossible d'en donner une idée suffisante sans le

secours de figures et de quelques calculs analytiques. Aussi nous contenterons-nous de dire que les méthodes imaginées par M. Arago, outre l'exactitude qui leur est propre, se font remarquer par la circonstance véritablement paradoxale que la comparaison de deux images s'effectue sans que ces deux images aient besoin d'être jamais séparées.

« En terminant sa lecture, M. Arago a fait connaître les moyens dont il s'est servi pour déterminer les proportions de lumière contenue dans les faisceaux réfléchis sous toutes sortes d'angles, quelle que soit la nature de la substance éprouvée; il a montré, par exemple, comment on peut trouver l'angle de polarisation sur les métaux.

« M. Arago avait déjà publié plusieurs de ces derniers résultats dans l'article Polarisation de l'*Encyclopédie britannique* (Voir t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 317), mais sans divulguer alors les méthodes qui peuvent servir à en constater l'exactitude. » (Extrait du *Temps.*)

Voici maintenant le précis du Mémoire de M. Arago, rédigé par M. Babinet, tel qu'il est inséré à la page 590 du tome II de la traduction du Traité de sir John Herschel :

« L'énoncé complet de la loi que M. Arago s'est proposé de vérifier par l'expérience est celui-ci : « Si l'on fait passer perpendiculairement un rayon de lumière polarisée à travers une plaque cristallisée dont la section principale fait un angle quelconque avec le plan de polarisation du rayon incident, la quantité de cette lumière qui passe à l'état de rayon ordinaire est proportionnelle au carré du cosinus de l'angle que fait la section principale du cristal

avec le plan de polarisation du rayon incident; le reste forme le rayon extraordinaire. »

« Avant d'exposer le procédé d'expérience qui permettra de démontrer comme loi physique ce théorème d'optique, M. Arago rappelle et définit expérimentalement les principales propriétés de la lumière polarisée.

« 1° La lumière polarisée obtenue par la double réfraction, par la réflexion, par les réfractions multiples, par l'absorption dans certains cristaux, est celle qui ne donne qu'un seul rayon (le rayon ordinaire) quand elle traverse perpendiculairement un cristal rhomboïde de spath d'Islande dont la section principale coïncide avec le plan de polarisation de cette lumière; tandis que, dans la même circonstance, la lumière naturelle, celle du Soleil, par exemple, celle des étoiles, celle d'une bougie, donnent deux faisceaux distincts d'égale intensité, l'un qui suit la réfraction ordinaire, l'autre la réfraction extraordinaire. On sait que l'on désigne sous le nom de section principale le plan mené perpendiculairement à la face d'entrée du cristal par l'axe du rhomboïde qui caractérise la forme cristallographique du spath d'Islande.

« Réciproquement, on reconnaît qu'un rayon est polarisé, lorsque, dans certaines positions du cristal de spath, ce rayon refuse de se séparer en deux; et si, de plus, il passe tout en entier en suivant la réfraction ordinaire, la position actuelle de la section principale du cristal indique le plan de polarisation du rayon.

« 2° Si la lumière polarisée traverse une plaque de spath d'Islande dont la section principale soit perpendiculaire à son plan de polarisation, le rayon ordinaire est alors

nul, et toute la lumière passe à l'état de rayon extraordinaire.

« 3° Si la section principale du cristal fait un angle de 45°, moitié de l'angle droit, avec le plan de polarisation de la lumière incidente, alors celle-ci fournit deux rayons d'égale intensité, qui sont l'un et l'autre moitié de la lumière incidente.

« 4° La lumière peut être partiellement polarisée, et alors on peut la considérer comme un mélange de lumière naturelle ou neutre et de lumière polarisée. La partie non polarisée fournit aux deux réfractions ordinaire et extraordinaire des quantités égales ; et, quant à la partie polarisée, suivant que l'angle de la section principale du cristal avec son plan de polarisation est 0°, 90° ou 45°, cette lumière polarisée s'ajoute tout entière au rayon ordinaire dans le premier cas, tout entière au rayon extraordinaire dans le second cas, et enfin, dans la dernière hypothèse, se partage également entre les deux réfractions.

« 5° Un autre caractère non moins important de la lumière polarisée dont on doit la découverte à M. Arago, et dont il a su tirer parti pour un grand nombre de recherches optiques, est ce qu'on appelle la polarisation colorée ou polarisation chromatique : il consiste en ce que, si l'on fait passer un rayon polarisé au travers d'une lame doublement réfringente, d'une épaisseur et d'une position convenables, les deux rayons ordinaire et extraordinaire que donne ensuite ce rayon, traversant le spath comme ci-dessus, sont alors teints des plus vives couleurs, lesquelles de plus jouissent de l'importante propriété d'être

complémentaires, c'est-à-dire que la réunion de ces deux faisceaux colorés reproduit une lumière tout à fait incolore ; on exprime encore cette propriété en disant que deux teintes complémentaires se neutralisent réciproquement : par exemple, avec le rouge et le vert complémentaires on reproduit du blanc.

« Ajoutons que, si le cristal que traverse le rayon avant le rhomboïde est une plaque de quartz ou cristal de roche, taillée perpendiculairement à l'axe du prisme à six pans, qui est sa forme la plus ordinaire, et d'environ 5 millimètres d'épaisseur, la lumière polarisée qui aura suivi l'axe de ce cristal et traversé ensuite le spath biréfringent sera colorée de teintes complémentaires très-riches, l'une par exemple d'un rouge vif, l'autre d'un vert très-beau.

« 6° Dans les deux cas du numéro précédent, si la lumière, au lieu d'être complétement polarisée, ne l'est que partiellement, on observe encore une coloration par des teintes complémentaires; mais celles-ci sont d'autant moins vives que la proportion de lumière polarisée est plus petite dans le rayon soumis à l'expérience ; en sorte que cette propriété fournit un moyen, qu'aucun autre ne peut remplacer, pour s'assurer qu'une lumière donnée est complétement neutre, c'est-à-dire ne contient aucune portion de lumière polarisée : car, s'il en est ainsi, cette lumière, transmise d'abord au travers d'une plaque de quartz de 5 millimètres d'épaisseur, et ensuite au travers d'un spath, ne donne aucune trace de coloration aux deux faisceaux en lesquels elle se divise.

« 7° L'expérience prouve que, si l'on réunit deux fais-

ceaux d'égale intensité, et polarisés dans deux plans à angles droits, la lumière ainsi obtenue est complétement analogue à la lumière neutre. Ceci fournit un moyen de dépolariser un faisceau de lumière, soit complétement, soit partiellement polarisé. En effet, si on lui fait traverser un cristal biréfringent dont la section principale fasse un angle de 45° avec son plan de polarisation, il se résout en deux faisceaux d'égale intensité; et comme d'ailleurs l'expérience montre que les deux faisceaux de la double réfraction sont polarisés complétement et que de plus leurs plans de polarisation sont à angles droits, il s'ensuit que la lumière polarisée divisée en deux faisceaux égaux et polarisés à angles droits, ou, comme on dit, polarisés en sens contraires, sera analogue à la lumière neutre, c'est-à-dire complétement dépolarisée.

« Il est facile de voir que l'on arrivera au même résultat pour la lumière partiellement polarisée : en effet, la partie non polarisée fournissant toujours deux images égales et polarisées en sens contraires, si de plus la section principale du spath analysant est placée à 45° du plan de polarisation de la partie polarisée, de manière à rendre aussi égales les deux parties dans lesquelles la portion polarisée se divise, on obtiendra en définitive deux faisceaux égaux et polarisés en sens contraires, c'est-à-dire de la lumière dépolarisée ou neutre.

« Observons que ce procédé peut être extrêmement utile pour ramener des rayons fractionnés par la double réfraction, et par suite polarisés, à l'état de lumière neutre et dégagée des propriétés de l'état de polarisation qui pourraient nuire ultérieurement au succès de l'expérience.

« La position de la section principale d'un cristal qui donne les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire égaux étant à 45° du plan de polarisation du rayon, on obtiendra par la dépolarisation complète un moyen précieux de trouver le plan de polarisation de la portion polarisée d'un rayon qui ne l'est que partiellement. Il suffira de chercher la position de la section principale du cristal qui le dépolarise complétement : le plan de polarisation cherché sera à 45° de la section principale du cristal dans sa position actuelle.

« L'égalité des deux faisceaux, quand la section principale du cristal biréfringent fait un angle de 45° avec le plan de polarisation de la lumière incidente, vérifie la loi du carré du cosinus pour ce cas : en effet, prenant pour unité la lumière incidente, et, d'après cette loi, le rayon ordinaire égal au carré du cosinus de 45° (lequel cosinus carré est égal à $\frac{1}{2}$), le reste de la lumière ou le faisceau extraordinaire serait égal à l'unité moins $\frac{1}{2}$, ou $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire égal au rayon ordinaire, ainsi que l'expérience le donne. M. Arago, qui a fait cet essai, a trouvé qu'en effet les deux rayons se neutralisent alors complétement, ce qui lui a fait conclure leur égalité, et par suite la loi du cosinus dans ce cas.

« Il est à remarquer que par ce procédé d'exploration on s'assure de l'égalité de deux faisceaux lumineux, sans avoir besoin de les séparer, et que la polarisation porte avec elle un caractère tel, qu'en permettant d'agir sur deux faisceaux confondus, on éloigne en même temps toute erreur provenant de l'inégale sensibilité de l'œil dans les deux parties différentes de la rétine, qui autre-

ment seraient soumises à l'action de deux faisceaux distincts.

« 8° L'induction qui conduit à cette loi du carré du cosinus indiquée mais non démontrée par Malus, est assez facile à suivre. Un rayon polarisé donne pour rayon ordinaire, en traversant une lame biréfringente dont la section principale fait avec le plan de polarisation des angles 0°, 45°, 90°, des quantités 1, $\frac{1}{2}$, 0; tandis que le rayon extraordinaire a les valeurs complémentaires 0, $\frac{1}{2}$, 1. Ces trois valeurs 1, $\frac{1}{2}$, 0, du rayon ordinaire, sont précisément celles du carré du cosinus de l'angle égal à 0°, 45°, 90°, que font entre eux les deux plans indiqués. Fresnel a aussi déduit cette loi théoriquement de ses idées sur la nature de la vibration lumineuse, qu'il admet transversale à la direction du rayon lumineux; mais personne avant M. Arago n'a essayé d'en trouver une démonstration expérimentale et qui ne fût contestée par aucun de ceux-là même qui n'adopteraient pas tel ou tel système ou théorie d'où l'on pourrait déduire cette loi physique.

« M. Arago signale l'importance de pareilles démonstrations physiques qui établissent pour toujours des lois de la nature (comme, par exemple, la loi des sinus de Descartes dans la réfraction des milieux non cristallisés) et servent d'appui aux théories, au lieu d'emprunter de celles-ci une certitude toujours sujette à vérification, et constituent de véritables acquisitions pour la science, puisque rien ne peut détruire une loi vérifiée par les faits, quel que soit d'ailleurs le genre d'induction ou de théorie qui ait conduit à reconnaître ou même à soupçonner cette loi.

« M. Arago signale encore l'importance pratique de la loi du carré du cosinus dans la photométrie, cette branche de la physique qui doit tant (et l'on peut même dire tout) aux travaux de M. Arago. En effet, la difficulté des problèmes de photométrie consiste presque toujours en ces deux éléments qui établissent la comparaison de deux lumières données : 1° fractionner la lumière la plus intense d'une quantité bien connue pour la rendre égale à la plus faible ; 2° s'assurer, par un procédé exempt d'erreur et assez sensible, de l'égalité établie. Or, qui ne voit qu'au moyen de la non-coloration de la lame de quartz, on s'assure de l'égalité des deux faisceaux mélangés polarisés à angles droits, d'une part, et que, de l'autre, on conclut la fraction de l'un des deux faisceaux qui a été employé à neutraliser le second, par la loi du carré du cosinus de l'angle des plans déjà plusieurs fois spécifiés? Observons encore que ce fractionnement peut être employé utilement même dans le cas où la polarisation chromatique ne serait pas appelée à décider de l'égalité des deux lumières à comparer. En effet, on peut toujours dépolariser le rayon fractionné par la double réfraction, en lui faisant traverser une lame biréfringente assez mince pour ne point le diviser en deux faisceaux distincts et lui rendre dès lors toutes les propriétés de la lumière directe ou naturelle.

« Par exemple, en prenant pour point de comparaison la lumière d'un objet céleste successivement fractionnée de quantités connues, on pourrait suivre par des égalités successives l'invasion croissante de l'ombre de Jupiter sur le disque de l'un de ses satellites au moment de l'éclipse

de celui-ci; un fractionnement commode et non sujet à objection ne pourrait s'obtenir autrement.

« M. Arago signale encore l'intensité comparative de la lumière des étoiles comme facile à obtenir par ce procédé; car, avant ou après avoir ramené les deux astres dans deux parties voisines du champ d'une lunette, on fractionnera la lumière du plus fort (préalablement polarisée) d'une quantité connue qui la rende égale à l'étoile la plus faible.

« Après avoir fait sentir l'importance de cette loi dans un grand nombre de recherches qui ne sauraient être tentées qu'en s'appuyant sur les données qu'elle fournit à la pratique, M. Arago passe à l'exposition du procédé qu'il a imaginé pour vérifier cette loi pour des angles divers qui se reproduisent à la volonté de l'expérimentateur, depuis la coïncidence du plan de polarisation avec le plan de la section principale jusqu'à l'écart le plus grand de ces plans, celui où l'un des deux est perpendiculaire à l'autre.

« Pour comprendre la marche de ce procédé, il faut savoir que M. Arago a démontré que, si l'on fait réfléchir la lumière par une plaque de verre, par exemple, la quantité absolue de lumière polarisée qui se trouve dans le rayon réfléchi est précisément égale à celle qui se trouve dans le rayon transmis; seulement celle-ci est polarisée en sens contraire. Il suffit, du reste, pour s'assurer de cette loi, de recevoir à la fois le rayon réfléchi et le rayon transmis, et de voir si leur réunion forme de la lumière neutre. Or, tel est le fait observé par M. Arago; donc la quantité de lumière polarisée suivant le plan de

réflexion et comprise dans le rayon réfléchi, est égale à la partie polarisée en sens contraire qui existe dans la lumière transmise, puisque ces deux quantités de lumière se neutralisent réciproquement.

« M. Arago conclut de là un moyen de connaître, sinon en valeur absolue, au moins relativement, la quantité proportionnelle de lumière polarisée que contiennent comparativement deux rayons partiellement polarisés.

« Éclaircissons ceci par un exemple. Supposons un rayon de lumière naturelle qui traverse sous une incidence donnée une plaque de verre à faces parallèles et qui fournit ainsi un faisceau transmis et un faisceau réfléchi qu'on peut faire se surpasser mutuellement dans des rapports connus ou être égaux suivant l'incidence. Les procédés photométriques de M. Arago permettent de rendre le rayon réfléchi égal au quart, au tiers, à la moitié, aux deux tiers, ou enfin à une fraction quelconque du rayon incident. Arrêtons-nous au cas où le rayon transmis est double du rayon réfléchi, ce dernier étant égal au tiers de la lumière totale. Alors, comme la quantité absolue de lumière polarisée dans l'un et dans l'autre rayon est la même, il est évident que la quantité proportionnelle de lumière polarisée sera, dans le rayon transmis, moitié de la proportion contenue dans le rayon réfléchi. En d'autres termes, dans le rayon réfléchi, le rapport de la portion polarisée à la lumière totale sera double du rapport de la portion polarisée au rayon total dans le rayon transmis, quelle que soit d'ailleurs la valeur absolue de la quantité de lumière polarisée dans l'un et dans l'autre rayon.

« Maintenant on sait par expérience que, si l'on place

sur le trajet d'un rayon partiellement polarisé une ou plusieurs plaques de verre inclinées convenablement, on ramène ce rayon à l'état neutre, et que cet effet a lieu quelle que soit l'intensité du rayon partiellement polarisé. La même pile de plaques, sous des inclinaisons plus avantageuses, neutralise des proportions plus considérables de lumière polarisée dans le faisceau partiellement polarisé. Ainsi, dans l'exemple choisi plus haut, d'un rayon réfléchi qui, comparé au rayon transmis, contient une proportion double de lumière polarisée, il est évident que pour dépolariser le rayon réfléchi il faudrait employer une pile de glaces plus nombreuses ou la même pile sous une incidence plus favorable. Cette neutralisation par une pile donnée, sous une certaine incidence, est tellement liée à la proportion de lumière polarisée que contient le rayon partiellement polarisé, qu'en augmentant ou diminuant l'inclinaison de la pile de glaces la neutralisation cesserait tout de suite d'avoir lieu.

« Réciproquement, si l'on a une série d'inclinaisons de la même pile qui neutralisent des proportions connues de lumière polarisée contenues dans le rayon incident, on pourra se servir utilement de cette pile sous ces diverses inclinaisons pour reconnaître, par une première inclinaison où elle neutralise un premier rayon partiellement polarisé, et par une seconde inclinaison où elle neutralise un second rayon aussi partiellement polarisé, le rapport des proportions de la lumière polarisée que contiennent respectivement ces deux rayons. Par exemple, dans le cas d'une lame de verre qui réfléchit un rayon égal à la moitié de celui qu'elle transmet, et où par conséquent le

rayon réfléchi contient une proportion double de lumière polarisée, si l'on note les deux inclinaisons de la pile qui successivement neutralisent ces deux rayons, on sera sûr que pour deux autres rayons quelconques, obtenus par un tout autre procédé, les proportions respectives de lumière polarisée seront les mêmes que dans le cas présent, si les inclinaisons de la pile neutralisante sont aussi les mêmes.

« Tout ce qui précède étant admis, voici l'esprit de la méthode imaginée par M. Arago pour la vérification de la loi du carré du cosinus.

« Transmettez sous l'incidence perpendiculaire un rayon complétement polarisé à travers une plaque biréfringente dont la section principale fasse un angle connu avec le plan de polarisation du rayon, et qui ne sépare point les deux réfractions en deux faisceaux distincts, soit parce que la lame sera peu épaisse, soit parce que les faces seront taillées parallèles à l'axe. Si le rayon polarisé se partage suivant les deux réfractions d'après la loi admise, le carré du cosinus de l'angle indiqué donnera un premier nombre qui mesurera la lumière ordinaire polarisée suivant la section principale, tandis que l'unité moins le même cosinus carré donnera un autre nombre mesurant la lumière extraordinaire. La proportion de lumière polarisée dans ce cas, sur un total égal à l'unité, sera donc représentée par la différence de ces deux nombres, puisque tout le reste se neutralisera réciproquement.

« Sans rien changer à cette disposition, qui donne, comme on voit, un faisceau partiellement polarisé dont la proportion peut se calculer d'après la loi du cosinus carré,

mettez sur le trajet du rayon une pile de plaques, et notez l'inclinaison de la pile où elle neutralise ce rayon.

« Reprenez ensuite la première partie de l'expérience, et, changeant l'angle du plan de polarisation du rayon incident avec la section principale du cristal, obtenez un nouveau rayon partiellement polarisé, mais dans une proportion différente, et calculez de nouveau la proportion de lumière polarisée par la loi du carré du cosinus.

« Enfin neutralisez de même ce second faisceau partiellement polarisé par la même pile, dont vous noterez l'inclinaison au moment où elle neutralise le nouveau faisceau transmis.

« Ces deux inclinaisons de la pile correspondent à des quantités proportionnelles de lumière polarisée différentes dans les deux cas, et dont le rapport vous sera connu par ce qui a été dit précédemment, lequel rapport devra être le même que celui des deux nombres obtenus par la loi du carré du cosinus.

« Pour fixer les idées par un exemple, supposons connues, comme plus haut, les deux inclinaisons d'une même pile de plaques qui neutralisent dans un rayon polarisé partiellement des proportions relatives 1 et 2 de lumière polarisée, et admettons que sous ces deux inclinaisons la pile, tournée convenablement, ait produit la neutralisation quand les angles de la section principale du cristal placé sur la route du rayon primitivement polarisé avec le plan de polarisation de ce rayon étaient a et b. On en conclut que dans ces deux cas les proportions de lumière polarisée comprises successivement dans le faisceau transmis sont respectivement comme les nombres 1 et 2.

« Mais, d'autre part, dans le premier cas, la lumière ordinaire est mesurée par le nombre qui exprime le carré du cosinus de a, et la lumière extraordinaire par l'unité moins ce nombre. Cette dernière quantité retranchée du carré du cosinus donne le nombre qui indique la proportion même de lumière polarisée, puisque la lumière totale est égale à l'unité. Le même calcul pour l'angle b donnera un nombre analogue, et si la loi du carré du cosinus est vraie, le premier de ces nombres sera la moitié du second. »]

XXV

DU RAPPORT QUI EXISTE ENTRE LA LUMIÈRE QUI SE POLARISE PAR RÉFLEXION ET CELLE QUI, AU MÊME INSTANT, REÇOIT LA POLARISATION CONTRAIRE [1]

Lorsqu'on décompose avec un rhomboïde convenablement placé la lumière qui a traversé une plaque de verre sous l'incidence de 35°, on aperçoit deux images dont les intensités paraissent très-peu différentes, tandis que si l'on analyse par le même procédé la lumière réfléchie, l'une des deux images disparaît entièrement. Dans ce dernier

1. Note inédite à laquelle sont jointes les déterminations numériques que M. Arago a consignées à leur date dans le même registre où elle est écrite. Ces observations se rapportent à la découverte de ce fait que la quantité de lumière polarisée par réflexion est égale à la quantité de lumière polarisée par réfraction dans un plan perpendiculaire (voir précédemment, p. 164 et 176, et le tome IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 324 et 379). L'appareil qui se trouve indiqué dans cette note est l'ébauche du photomètre décrit dans le deuxième Mémoire sur la photométrie (p. 196 à 203).

cas les rayons reçoivent une polarisation complète; dans le premier ils sont seulement polarisés en partie. Il est curieux de chercher quel rapport il y a entre la quantité de lumière qui se polarise par réflexion et celle qui, au même instant, reçoit par transmission la polarisation contraire. A première vue, on croirait que cette dernière quantité doit être fort petite, parce qu'elle est mêlée à un nombre considérable de rayons non polarisés; mais par cela même la recherche dont il s'agit semble devoir présenter de grandes difficultés. Les physiciens savent en effet que les méthodes qu'on a jusqu'à présent découvertes pour mesurer, en général, l'intensité de la lumière sont extrêmement défectueuses. Or leur imperfection se faisait particulièrement sentir ici où il fallait déterminer le rapport d'une lumière donnée à la différence de deux autres lumières qu'on ne pouvait même séparer qu'à l'aide d'un prisme doué de la double réfraction. Aussi ne suis-je parvenu à faire cette comparaison, dans toutes les incidences des rayons sur le verre, qu'à l'aide de plusieurs méthodes nouvelles que j'exposerai avec quelque développement à cause de leur exactitude et des nombreuses applications dont elles me paraissent susceptibles.

Plusieurs expériences dont le détail serait ici sans objet m'avaient fait penser depuis longtemps que la quantité de lumière qui se polarise par réfraction est à peu près égale à celle qui, dans des circonstances analogues, se polarise par réflexion. En admettant que cette égalité eût lieu pour toutes les incidences, il était évident que toutes les fois que le faisceau réfléchi serait beaucoup plus faible que le faisceau transmis, celui-ci renfermerait une quan-

tité considérable de lumière non polarisée, et ce mélange me semblait suffisant pour expliquer pourquoi sous l'incidence de 35°, par exemple, les deux images que donne la lumière transmise paraissent avoir des intensités si peu différentes l'une de l'autre ; il résulterait tout aussi évidemment de cette hypothèse que lorsque les faisceaux transmis et réfléchis auraient la même intensité, les portions égales de lumière polarisée se trouveraient mêlées dans chacun d'eux à des quantités aussi égales entre elles de lumière non modifiée, et par suite que si l'on appliquait successivement le rhomboïde à l'analyse des deux faisceaux, l'image ordinaire fournie par le faisceau réfléchi devrait, par exemple, surpasser l'image extraordinaire correspondante d'une quantité précisément égale à celle qui, au contraire, mesurerait l'excès du faisceau extraordinaire sur le faisceau ordinaire, lorsque dans la même position du rhomboïde, on analyserait la lumière transmise. Voici maintenant comment je me suis assuré de la vérité de ces conjectures par des expériences rigoureuses.

J'ai cherché d'abord à déterminer avec toute l'exactitude possible sous quel angle l'espèce de verre dont je voulais me servir réfléchit la moitié de la lumière incidente, ou, ce qui revient au même, sous quel angle les deux faisceaux transmis et réfléchi ont exactement la même intensité. J'ai placé pour cela au centre d'un cercle divisé en degrés et perpendiculairement à son plan un miroir de verre à faces planes et parallèles ; sur le prolongement du rayon qui aboutit au commencement de la division et à une distance convenable, j'ai fixé une pinnule. La ligne qui joint cette ouverture et le centre de l'arc indi-

que dans toutes les expériences la direction du rayon visuel; le miroir de verre est fixé sur un rayon mobile et peut par conséquent prendre par rapport à la ligne visuelle toutes sortes d'inclinaisons, depuis l'incidence perpendiculaire jusqu'à une incidence nulle. Pour compléter enfin cet appareil, j'attache au miroir de verre parallèlement au cercle fixe, presque à la même hauteur au-dessus de ce plan, deux tiges de fil de fer semblables très-déliées et noircies, dont l'une dépasse le miroir vers la droite, tandis que l'autre est tout entière du côté opposé. Il résulte évidemment de cette disposition que lorsque la première tige se verra par sa réflexion sur les deux faces du miroir, l'autre s'apercevra par transmission et réciproquement. La comparaison des intensités respectives des deux images se fera d'ailleurs avec d'autant plus de facilité et d'exactitude qu'elles seront presque en contact et se verront simultanément.

Cela posé, supposons qu'on place cet appareil à une petite distance d'un corps uniformément éclairé, d'une feuille de papier, par exemple, et qu'avec un écran noirci on intercepte la portion de lumière qui traverserait le verre; l'œil placé à la pinnule apercevra l'une des deux tiges par réflexion, et cette image ou plutôt cette ombre de la tige paraîtra noire, puisque la portion du miroir qui lui correspond est la seule qui ne recevra aucun rayon.

Si maintenant on enlève l'écran, la lumière transmise se répandra à la fois sur l'ombre réfléchie de la tige et sur le reste de la surface du miroir. Cette ombre, qui d'abord était complète, sera maintenant éclairée par la totalité du faisceau réfracté, et paraîtra par là d'autant

plus affaiblie que le faisceau transmis surpassera davantage le faisceau réfléchi. Par un raisonnement entièrement semblable on verrait que l'ombre de la tige qu'on aperçoit par transmission sera d'autant moins éteinte par la lumière réfléchie qui suit la même route, que cette lumière aura moins d'intensité par rapport à celle qui traverse le miroir, et de là il suit évidemment que les deux ombres dont nous venons de parler ne paraîtront avoir la même force que lorsque les deux faisceaux transmis et réfléchi auront aussi l'un et l'autre la même intensité. Pour découvrir la situation dans laquelle cette condition est remplie, il suffira donc d'appliquer l'œil à la pinnule et de faire tourner le rayon qui supporte le miroir jusqu'au moment où les ombres seront parfaitement égales, en ayant toutefois l'attention de disposer l'appareil de telle sorte que les deux faisceaux incidents aient la même intensité. On corrigera les erreurs qui pourraient tenir à une position imparfaite du miroir en faisant successivement l'opération de part et d'autre du zéro.

En plaçant devant la pinnule visuelle de l'appareil un petit prisme de cristal de roche qui décompose en deux chacune des ombres des deux tiges, et en cherchant sous quels angles les deux images faibles ou bien les deux images fortes sont égales entre elles, on devra retomber sur les angles pour lesquels le faisceau transmis est égal au faisceau réfléchi, s'il est vrai que pour toutes les incidences la quantité de lumière qui se polarise par réfraction est égale à celle qui, dans les mêmes circonstances, se polarise par réflexion.

Voici maintenant les observations :

29 avril 1815.

Recherche de l'angle sous lequel une plaque de verre réfléchit la moitié de la lumière incidente.

I. — Les deux ombres sont égales sous l'angle de 11°.8, le limbe étant à gauche; sous l'angle de 11°.46, le limbe étant à droite; la moyenne des deux déterminations est 11°.27. On a visé à une feuille de papier placée sur la fenêtre du nord-est, dans la tour des cabinets; le ciel était entièrement couvert.

II. — Les deux ombres sont égales sous l'angle de 11°.31, le limbe étant à gauche; sous l'angle de 11°.09, le limbe étant à droite; la moyenne des deux déterminations est 11°.20. On a visé à la feuille de papier qui avait servi dans l'expérience précédente, mais on l'avait placée sur la fenêtre du sud. Le ciel était encore entièrement couvert.

Ces expériences ont été faites avec une plaque de verre plane qui m'avait été prêtée par M. Biot.

27 juillet 1815.

I. — *Recherche de l'angle sous lequel une plaque de verre réfléchit la moitié de la lumière incidente.*

Les deux ombres sont égales sous l'angle de 11°.07, le limbe étant à droite; sous l'angle de 11°.4, le limbe étant à gauche; la moyenne des deux déterminations est 11°.24. On a visé à une feuille de papier placée sur la table des cabinets et sous une inclinaison assez grande pour n'avoir pas à craindre que la lumière renfermât un

nombre sensible de rayons polarisés. Dans chaque expérience la plaque de verre était à peu près perpendiculaire à la feuille de papier qui servait de point de mire ou plutôt qui éclairait le miroir réfléchissant.

J'ai reconnu ensuite, à l'aide de ma petite lunette, que la lumière du papier était légèrement polarisée par réflexion.

Je me suis servi dans ces expériences d'une plaque plane de M. Richer.

II. — *Recherche de l'angle sous lequel le faisceau transmis et le faisceau réfléchi reçoivent des polarisations équivalentes.*

Les deux faibles images sont également intenses sous l'angle de 11°.35, le limbe étant à droite; sous celui de 11°.27, le limbe étant à gauche; la moyenne des deux déterminations est 11°.31. Ces observations ont été faites dans la même place, avec la même feuille de papier et les mêmes attentions que les précédentes. Il a suffi de placer devant la pinnule visuelle un petit prisme de cristal de roche qui décomposait chacune des ombres en deux.

Après avoir terminé ces observations j'ai reconnu que la lumière du papier était légèrement polarisée par réflexion, à l'aide d'une petite lunette armée d'une plaque de cristal de roche.

Je me suis servi dans cette expérience de la plaque plane de M. Richer.

III. — *Inclinaison sous laquelle les images réfléchie et transmise sont également polarisées.*

Les deux faibles images sont égales sous l'angle de 11°.51, le limbe étant à droite; sous l'angle de 11°.20,

le limbe étant à gauche ; la moyenne de ces deux déterminations est 11°.35. Pour ces observations on s'est servi de la lumière transmise par une feuille de papier qui était appliquée sur le carreau méridional de la tour des cabinets; cette lumière ne présentait aucune trace de polarisation, même avec ma petite lunette prismatique.

IV. — *Inclinaison sous laquelle l'image transmise et l'image réfléchie sont également vives.*

Les deux images sont également intenses sous l'angle de 11°.50, le limbe étant à droite ; sous l'angle de 11°.62, le limbe étant à gauche; la moyenne des deux déterminations est 11°.56.

Les conditions de l'observation sont les mêmes que dans les expériences précédentes.

1er AOUT 1815.

Par une moyenne entre un assez grand nombre d'observations je trouve que (la plaque étant à droite) l'image réfléchie et l'image transmise sont également vives lorsque l'index correspond à 11°.2 ou 11°.3 environ.

Dans ces mesures le miroir de verre était vertical et à très-peu près perpendiculaire à la feuille de papier dont je me servais.

8 AOUT 1815.

Recherche de l'angle sous lequel la première réflexion sur une plaque de verre à faces parallèles donne une image de même intensité que la seconde réflexion sur un miroir de platine ou un miroir d'acier placés derrière.

J'ai placé deux miroirs plans et bien polis, l'un de pla-

tine et l'autre d'acier, derrière le miroir plan de verre qui a servi aux expériences précédentes, et j'ai cherché ensuite à déterminer sous quel angle la seconde réflexion donne une image aussi vive que la première réflexion sur la première face de la plaque de verre. Dans ces expériences je me suis servi de l'ombre d'un corps délié et noirci que je plaçais devant le miroir.

Pour le platine les deux images ont été également vives sous l'angle de 15° 37′; pour l'acier, sous l'angle de 15° 38′ [1]. Le limbe était à gauche.

On aperçoit généralement trois images dans ces expériences, savoir :

1° L'image qui est réfléchie par la première face du verre;

2° L'image qui provient de la seconde face et du miroir métallique en contact avec elle;

3° Une image qui ne parvient à l'œil qu'après trois réflexions dont une sur le miroir métallique, une seconde sur la première face du miroir de verre, et une troisième enfin sur le miroir de métal. Le mouvement facilite la visibilité de l'image. A 62°, cette troisième image est invisible; à 42° elle se voit très-distinctement; à 40°, elle se voit bien; à 46°, encore un peu; à 56° je ne la vois plus.

A la première vue la lumière réfléchie par le miroir de platine semble sensiblement plus faible que celle que ré-

1. La détermination n'est que de 14° 37′ pour le platine et 14° 38′ pour l'acier; mais il faut ajouter 1° pour l'épaisseur de la plaque qui supporte les miroirs, car dans ces expériences on a lu du côté opposé.

fléchit le miroir d'acier; toujours est-il bien certain qu'elle est moins blanche.

Les expériences précédentes montrent cependant que les secondes réflexions qui ont lieu sur les deux miroirs fournissent des images de même intensité sous la même incidence de 15° 1/2.

Sous l'incidence de 20° les deux images qui dans mon appareil viennent se placer sur la même ligne droite, ont encore la même teinte, le même ton d'obscurité, si je puis m'exprimer ainsi; mais il n'en est plus ainsi sous une inclinaison de 40°, car alors l'image qui correspond au miroir d'acier est un peu plus noire que celle qui se projette sur le platine. Cette même différence se soutient, mais sans augmenter sensiblement, dans les inclinaisons plus grandes que 40°.

Les miroirs métalliques et le miroir de verre sont presque immédiatement en contact; aussi sous des angles aigus voit-on des bandes colorées qui sont principalement rouges et vertes; mais, ce qui est remarquable, c'est que passé une certaine limite d'inclinaison ces bandes disparaissent entièrement. Ainsi à 25° il n'y a pas encore de couleurs; ce n'est qu'à 18° que je vois des couleurs sur le platine; à 16° j'en vois sur l'acier; à 14° les couleurs sont très-apparentes sur l'un et sur l'autre métal. Du reste, ces couleurs, tout comme les anneaux ordinaires qui se forment entre un miroir de verre et un miroir de métal, décomposées dans ces inclinaisons très-obliques à l'aide d'un prisme de spath calcaire, fournissent deux images de couleurs complémentaires.

10 AOUT 1815.

Recherche de l'angle sous lequel la première réflexion sur une plaque de verre à faces parallèles donne une image de même intensité que la seconde réflexion sur un miroir de platine ou un miroir d'acier placés derrière.

La moyenne d'une première série d'expériences a donné l'angle de 17° 42′ pour le platine, 17° 5′ pour l'acier; la moyenne d'une seconde série a été 18° 14′ pour le platine.

Ces observations ne diffèrent de celles du 8 août qu'en ce que j'avais introduit de l'alcool entre le miroir de verre et les miroirs de métal. Dans la première série je me suis servi de l'ombre d'un corps noir et très-délié; dans la seconde j'ai fait tomber un filet de lumière très-étroit sur les miroirs qui étaient garantis de toute lumière étrangère. Dans le premier cas l'image réfléchie par le verre présentait une légère teinte de rouge qui nuisait à la comparaison des images, tandis que, pendant la seconde série, cette teinte rougeâtre s'apercevait sur l'image métallique, ce qui montre que cette teinte tenait à la lumière réfléchie par le métal. Elle était, du reste, beaucoup plus sensible sur le platine que sur l'acier.

15 AOUT 1815.

I. — *Recherche de l'angle sous lequel deux miroirs de verre plans et parallèles transmettent autant de lumière qu'ils en réfléchissent.*

Le limbe étant à gauche, j'ai trouvé pour cet angle 17°.14; le limbe étant à droite, 15°.74. La moyenne des deux déterminations est 16°.44.

J'ai visé, pour ces observations, à une feuille de papier que j'avais placée sur la table des cabinets en face de la fenêtre du nord-est.

II. — *Recherche de l'angle sous lequel le faisceau réfléchi par deux plaques de verre et le faisceau transmis reçoivent des polarisations équivalentes.*

Les deux images prismatiques faibles sont également intenses sous l'angle de 17°.1, le limbe étant à gauche, et de 15°.4, le limbe étant à droite. La moyenne des deux déterminations est 16°.25.

11 OCTOBRE 1815.

Recherche de l'angle sous lequel deux miroirs de verre transmettent autant de lumière qu'ils en réfléchissent.

Les deux images sont également intenses sous l'angle de 17°.74, le limbe étant à gauche ; sous celui de 16°.32, le limbe étant à droite. La moyenne de ces deux déterminations est 17°.03.

On vise à une feuille de papier placée sur la fenêtre au sud, dans les cabinets ; le ciel est entièrement couvert.

J'ai également cherché *l'angle des polarisations équivalentes.*

Les images faibles sont également intenses sous l'angle de 18°.04, le limbe étant à gauche ; sous l'angle de 16°.78, le limbe étant à droite ; la moyenne des deux déterminations est 17°.41. Les images fortes sont également intenses sous l'angle de 17°.75, le limbe étant à gauche ; sous celui de 16°.24, le limbe étant à droite ; la moyenne des deux déterminations est 16°.99.

18 NOVEMBRE 1815.

Recherche de l'angle sous lequel quatre miroirs de verre parallèles réfléchissent autant de lumière qu'ils en transmettent.

Les deux images sont égales sous l'angle de 22°.4, le limbe étant à gauche ; sous l'angle de 21°, le limbe étant à droite ; la moyenne de ces deux déterminations est 21°.7. Ces observations ont été faites le matin ; on visait à une feuille de papier placée sur la table des cabinets, en face de la fenêtre nord-est.

J'ai cherché ensuite avec le prisme *l'angle des polarisations équivalentes.*

Les images fortes sont également intenses sous l'angle de 21°.74, le limbe étant à gauche ; sous celui de 21°.47, le limbe étant à droite ; la moyenne de ces deux déterminations est 21°.6.

Les deux images faibles sont également intenses sous l'angle de 21°, le limbe étant à gauche ; de 23°.5, le limbe étant à droite ; la moyenne des deux déterminations est 22°.25.

21 NOVEMBRE 1815.

Recherche de l'angle sous lequel quatre miroirs de verre parallèles réfléchissent autant de lumière qu'ils en transmettent.

Le limbe étant à gauche, cet angle a été trouvé de 21°.6 ; le limbe à droite, de 20°.2 ; la moyenne est 20°.9.

Les images faibles sont également intenses sous l'angle de 22°.5.

Dans la table de Lambert (*Photométrie*, p. 210) je lis que sous l'incidence de 80° la lumière incidente était 1 ;

la lumière réfléchie à la première surface est exprimée par 0.0203, et la lumière incidente sur la seconde face par 0.9797. Lambert trouve qu'à cette seconde face la proportion de lumière réfléchie est 0.0450 de la lumière incidente, l'incidence étant 80°, et que sous l'incidence perpendiculaire elle en est les 0.0448. Prenant la moyenne entre ces deux nombres, on a 0.0449, et multipliant par 0.9797, nous aurons 0.04399 pour la lumière réfléchie à la seconde face. En repassant dans l'air par la première face, ce faisceau doit être affaibli dans le rapport de l'unité à 0.0449, ce qui le réduira à 0.042 ; mais ce nombre est double de 0.0203 qui représente la lumière réfléchie à la première face ; donc en examinant les deux ombres d'un corps très-délié, formées l'une sur la première surface d'un verre parallèle et l'autre sur la seconde, on devrait apercevoir une différence très-sensible d'intensité, tout entière à l'avantage de l'ombre qui est réfléchie par la seconde face, ce qui n'arrive pas.

XXVI

SUR LE PHOTOMÈTRE DE LESLIE [1]

Le photomètre de Leslie, nous voulons dire le thermomètre différentiel du même physicien, dont une des boules est devenue opaque, à l'aide d'une légère dorure,

1. Note inédite qui a été écrite à l'occasion d'une communication faite par M. Melloni à l'Académie des sciences le 2 septembre 1839, sur la transmission de la chaleur rayonnante. M. Arago a seulement inséré dans le *Compte rendu* de la séance les lignes suivantes : « A l'occasion de la lettre qu'on vient de lire, par laquelle on voit

par exemple; le photomètre, disons-nous, jouit de l'étrange propriété de monter quand il est frappé par la lumière directe ou réfléchie du Soleil ; de baisser si on l'expose à la lumière qui émane du feu de nos cheminées, de rester à très-peu près stationnaire sous l'action de la lumière d'une lampe d'Argand. Ces trois états, stationnaire, de mouvement ascendant et de mouvement inverse de la liqueur du photomètre, n'exigent pas que les lumières qui les engendrent aient telle ou telle autre intensité, si du moins on ne tient compte que du sens ou de l'absence du déplacement[1].

Au premier coup d'œil chacun sentira quel rôle jouent ici les rayons calorifiques obscurs de diverses natures et inégalement absorbables qui se trouvent mêlés aux différentes lumières ; du premier coup d'œil aussi on verra qu'il sera toujours possible de faire artificiellement une combinaison de lumière et de telle ou telle chaleur donnée, qui soit sans action sur le photomètre, de composer

que M. Melloni suit, avec son habileté accoutumée, les facultés diverses de transmission que possèdent les rayons calorifiques dissemblables dont sont particulièrement composées les émanations des corps terrestres échauffés, M. Arago a cité verbalement une expérience qu'il a faite, il y a plus de vingt ans, à l'aide du photomètre de Leslie et qui fournira un moyen très-simple de décider, sans passer par aucune mesure, si ces rayons calorifiques se réfléchissent en plus ou en moins grandes proportions que les rayons lumineux. » — Voir sur le même sujet le deuxième Mémoire sur la photométrie, p. 214 de ce volume, et la Notice sur l'action calorifique et l'action chimique de la lumière, t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *Œuvres*, p. 538.

1. Nous appelons ainsi le mouvement de la liqueur qui se fait de la boule opaque vers la boule diaphane ; quand le mouvement inverse s'opère, nous disons que le photomètre baisse.

enfin un mélange photométriquement neutre ou d'amener à cet état, par des écrans, un mélange négatif.

Le mélange une fois trouvé, une fois éprouvé, quant à son action directe, on le fera arriver sur l'instrument par voie de réflexion. Si alors la liqueur reste également stationnaire, ce sera une preuve que la réflexion n'a point changé les proportions relatives des divers rayons, lumineux et obscurs, qui étaient contenus dans le faisceau total.

Le caractère de cette méthode est de ne pas exiger de mesures proprement dites : un simple repère, un simple trait sur le tube pour constater l'immobilité du liquide, suffit amplement.

[Dans le tome III du *Cosmos* se trouve l'extrait suivant d'une lettre écrite en mai 1850 par M. Arago à M. de Humboldt :]

« Il n'existe pas de photomètre proprement dit, c'est-à-dire d'instrument donnant l'intensité d'une lumière isolée. Le photomètre de Leslie, à l'aide duquel il avait eu l'audace de vouloir comparer la lumière de la Lune à la lumière du Soleil par des actions calorifiques, est complétement défectueux. J'ai prouvé, en effet, que ce prétendu photomètre monte quand on l'expose à la lumière du Soleil, qu'il descend sous l'action de la lumière du feu ordinaire et qu'il reste complétement stationnaire lorsqu'il reçoit la lumière d'une lampe d'Argand. Tout ce qu'on a pu faire jusqu'ici, c'est de comparer entre elles deux lumières en présence, et cette comparaison n'est même à l'abri de toute objection que lorsqu'on ramène ces deux lumières à l'égalité par un affaiblissement graduel de la lumière la plus forte. C'est comme critérium de cette

égalité que j'ai employé les anneaux colorés. Si l'on place l'une sur l'autre deux lentilles d'un long foyer, il se forme autour de leur point de contact des anneaux transmis ; ces deux séries d'anneaux se neutralisent mutuellement quand les deux lumières qui les forment et qui arrivent simultanément sur les deux lentilles sont égales entre elles.

« Dans le cas contraire, on voit des traces où d'anneaux réfléchis ou d'anneaux transmis, suivant que la lumière qui forme les premiers est plus forte ou plus faible que la lumière à laquelle on doit les seconds. C'est dans ce sens seulement que les anneaux colorés jouent un rôle dans les mesures de la lumière auxquelles je me suis livré. »

XXVII

INTERFÉRENCES DE L'ACTION CHIMIQUE DE LA LUMIÈRE

[Fresnel a donné en *Post-scriptum* dans le Supplément au *Système de chimie* de Thomson qui a paru en 1822, la description d'une expérience de M. Arago démontrant que l'influence chimique des rayons lumineux est modifiée par leur interférence et qu'elle varie d'intensité selon la différence des chemins parcourus par les systèmes d'ondes qui interfèrent. M. Arago n'ayant jamais décrit lui-même cette expérience, le texte rédigé par Fresnel doit prendre place ici. On trouve seulement dans les procès-verbaux des séances du Bureau des longitudes, à la date du 22 août 1821, la mention suivante d'une communication faite par M. Arago : « Un rayon de lumière arrivant sur

une surface de muriate d'argent, ce sel est décomposé. Mais si deux rayons tombent à la fois sur le même point dans des conditions d'interférence, la décomposition n'a plus lieu. »

L'éditeur de la traduction française du *Système de chimie* motive ainsi l'insertion du *post-scriptum* ajouté au Supplément de la Chimie de Thomson : « L'impression de ce volume était déjà avancée lorsque cette expérience de M. Arago a été connue. Son objet est d'un si grand intérêt, et le fait qu'elle établit est si important pour la science de la chimie qu'on a cru devoir la présenter ici comme addition à l'article de la lumière qui commence ce Supplément. » Il dit en outre dans une note : « Cet exposé de l'expérience de M. Arago est de M. Fresnel ».

Cette description est ainsi conçue :

« Dans l'exposé de ses recherches sur la lumière, M. Fresnel avait observé ce qui suit :

« En adoptant le système des ondulations, le seul qui puisse se concilier avec les phénomènes de la diffraction, on ne pouvait pas considérer l'action chimique de la lumière comme résultant d'une combinaison des molécules lumineuses avec les corps, puisque, d'après cette théorie, l'intensité de la lumière ne tient plus à l'abondance du fluide lumineux, mais à la vivacité de ses vibrations.

« Il en résulte évidemment que l'action chimique de la lumière doit consister dans une action mécanique de l'éther sur les molécules des corps qu'il environne de toutes parts et qu'il oblige à de nouveaux arrangements d'équilibre, à de nouvelles combinaisons plus stables,

quand les vibrations augmentent d'énergie. On conçoit que la nature des vibrations doit influer sur les effets chimiques qu'elles produisent.

« M. Arago vient de confirmer, par une expérience très-intéressante, cette opinion de M. Fresnel et démontrer ainsi directement que l'action chimique de la lumière ne peut être attribuée à une combinaison de ses molécules avec celles des corps.

« *Expérience.* En faisant tomber sur du muriate d'argent, fraîchement préparé, les franges produites par l'interférence de deux faisceaux réfléchis sur deux miroirs légèrement inclinés entre eux, M. Arago a reconnu qu'elles y traçaient des lignes noires, également espacées et séparées par des intervalles blancs; ce qui prouve que l'influence chimique des rayons lumineux est modifiée par leur interférence comme leurs propriétés optiques, et qu'elle varie d'intensité selon la différence des chemins parcourus. Quand cette différence est égale à un nombre entier d'ondulations, les deux systèmes d'ondes sont en accord parfait et leurs vibrations ont le plus d'énergie possible; c'est alors que leurs effets chimiques doivent atteindre leur maximum; au contraire, dans les points où la différence des chemins parcourus est un nombre impair de demi-ondulations, la discordance étant complète, les effets chimiques doivent être nuls, comme la sensation de lumière que les mêmes points produisent sur l'œil; c'est aussi ce que confirme l'expérience. Il faut seulement remarquer que les rayons violets extrêmes étant ceux qui ont le plus d'action chimique, les lignes noires tracées sur le muriate d'argent ne doivent pas correspondre aux

bandes les plus brillantes des franges produites par la lumière blanche, qui répondent à peu près aux points d'accord parfait des rayons jaunes. Cette expérience fournit un moyen simple et très-exact de déterminer la longueur moyenne des ondulations lumineuses qui ont le plus d'influence chimique : car il suffit pour cela de mesurer les intervalles compris entre les milieux des lignes noires tracées sur le muriate d'argent et d'en conclure, par la formule que nous avons donnée, la longueur des ondulations qu'elles produisent.

« En faisant tomber sur du muriate d'argent la lumière modifiée par le phénomène des anneaux colorés, M. Young a montré depuis longtemps que les mêmes modifications se soutenaient dans son action chimique; mais l'expérience de M. Arago a sur la sienne l'avantage de prouver directement que l'inégale action de la lumière aux différents points de l'espace où les deux faisceaux se réunissent tient à leur influence mutuelle, puisqu'en soustrayant un des faisceaux, on voit le muriate d'argent prendre une teinte uniforme dans le même espace où se formaient des lignes alternativement noires et blanches, quand les deux faisceaux y arrivaient simultanément; tandis que, dans l'expérience de M. Young, faite au moyen des anneaux colorés, il était impossible de séparer les deux systèmes d'ondes. On peut démontrer aussi par l'expérience de M. Arago que, dans les points qui répondent à des différences de chemins parcourus égales à un nombre impair de demi-ondulations, l'action chimique de la lumière est insensible lorsque les deux faisceaux réfléchis y arrivent ensemble, tandis qu'elle reparaît quand on

soustrait un des faisceaux. On voit que ce fait, indépendamment de toute théorie, renverse l'hypothèse adoptée par plusieurs savants, d'après laquelle les effets chimiques de la lumière résulteraient de sa combinaison avec les corps ; car, s'il en était ainsi, il y aurait toujours d'autant plus d'effet produit que la quantité de molécules lumineuses serait plus considérable, et l'on ne devrait, dans aucun cas, augmenter l'action chimique de la lumière en soustrayant une partie des rayons incidents.

« L'expérience de M. Arago renferme encore un fait remarquable qui ne se trouvait pas dans celle de M. Young, où les rayons qui interfèrent sont parallèles et ne se quittent plus après leur réunion ; c'est que les deux faisceaux réfléchis par les miroirs formant entre eux un angle sensible, il arrive que les mêmes rayons qui perdent dans un point leurs propriétés lumineuses et chimiques par leur discordance complète avec ceux qu'ils y rencontrent, se trouvant un peu plus loin dans des circonstances différentes, recouvrent ces propriétés; ce qui montre, comme l'observe M. Arago, qu'elles n'étaient pas détruites en eux, mais seulement neutralisées momentanément là où des mouvements en sens opposé contre-balançaient leurs vibrations. On concevra aisément ce jeu d'interférences à l'aide de la figure ci-après (fig. 21).

« L'expérience de M. Arago exige plusieurs précautions pour être répétée avec succès. Il faut d'abord que les rayons solaires réfléchis dans la chambre obscure soient maintenus dans une direction constante par un bon héliostat, afin que les franges qui se projettent sur la surface enduite de muriate d'argent n'éprouvent pas de déplace-

ment sensible, au moins pendant 10 minutes; et pour que les très-petits déplacements qu'elles pourraient encore éprouver pendant cet intervalle de temps ne nuisent pas à la netteté des lignes noires qu'elles impriment peu à peu

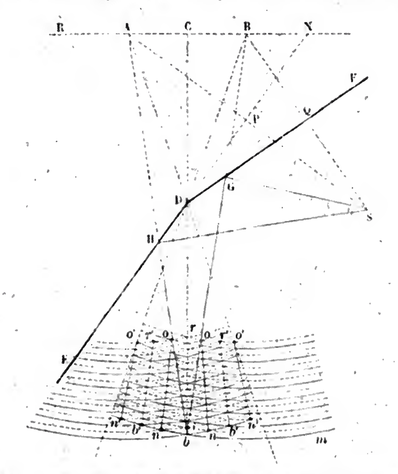


Fig. 21. — Interférences des ondes réfléchies par deux miroirs faisant entre eux un angle très-petit [1]

sur le muriate d'argent, il est bon de donner aux franges le plus de largeur possible, en dirigeant les surfaces des deux miroirs presque sur le prolongement l'une de l'autre. Au lieu de placer une lentille sphérique dans le volet de

1. « Cette figure représente une section des deux miroirs et des ondes réfléchies, faite par un plan mené du point lumineux perpendiculairement à ces miroirs projetés en ED et DF. Le point lumineux est en S, et A et B représentent les positions géométriques de ses deux images, qu'on détermine en abaissant du point S sur les deux miroirs ED et DF, les perpendiculaires SA et SB, et prenant

la chambre obscure, pour former un point lumineux, ce qui donnerait une lumière beaucoup trop faible, il faut se servir d'une lentille cylindrique, moyen précieux d'augmenter considérablement l'intensité de la lumière ; mais comme on produit ainsi une ligne lumineuse au lieu d'un point, il est indispensable de la tourner dans une direction bien exactement parallèle à celle des franges, ainsi que nous l'avons déjà dit, en indiquant ce procédé ingénieux, imaginé par M. Arago. On reconnaît aisément à la netteté des franges quand cette condition est remplie. La lentille cylindrique employée dans l'expérience que

PA égal à SP, et QB égal à SQ. En effet, c'est vers A et B, ainsi déterminés, que convergent les rayons réfléchis sur le premier et le second miroir, d'après la loi connue de la réflexion. Ainsi, pour avoir la direction du rayon réfléchi en un point G quelconque du miroir DF, par exemple, il suffit de mener une droite par B et G et cette ligne prolongée sera le rayon réfléchi. Or, il est à remarquer que, d'après la construction qui nous a donné la position du point B, les distances BG et SG sont égales et qu'ainsi le chemin total parcouru par le rayon réfléchi parti du point S et qui arrive en *b* est absolument le même que s'il était parti du point B. Cette conséquence géométrique s'appliquant à tous les autres rayons réfléchis par le même miroir, on voit qu'ils devront arriver en même temps sur les divers points de la circonférence *n'bm*, décrite du point B, comme centre, avec un rayon égal à B*b* ; cette circonférence représentera donc la surface de l'onde réfléchie * arrivée en B, ou plus exactement, l'intersection de cette surface avec le plan de la figure. Les ondes réfléchies par le miroir ED auront pareillement leur centre en A.

« Pour figurer les deux systèmes d'ondes réfléchies, on a décrit des

* J'appelle *surface de l'onde* la surface dont tous les points sont toujours ébranlés de la même manière au même instant. Si on la considère, par exemple, au commencement, au milieu, ou à la fin de l'onde, ce sera celle où le mouvement oscillatoire est nul ; et si on la prend au milieu de la première ou de la seconde moitié de l'onde, ce sera la surface sur toute l'étendue de laquelle les vitesses absolues des molécules éthérées atteignent leur maximum.

nous venons de rapporter avait 1 centimètre de foyer; les deux miroirs métalliques n'en étaient guère éloignés que de 60 centimètres, et la plaque enduite de muriate d'argent était à peu près à la même distance des miroirs. Ce grand rapprochement des différentes parties de l'appareil était nécessaire pour conserver aux rayons une intensité suffisante. Il faut remarquer qu'il rendrait très-confuses des franges un peu fines, en raison de la largeur sensible de la ligne lumineuse produite par une lentille d'un centimètre de foyer; et voilà principalement pourquoi il est très-important de donner aux franges le plus

point A et B comme centres des séries d'arcs également espacés et séparés les uns des autres par un intervalle qu'on suppose égal à la longueur d'une demi-ondulation. Afin de distinguer les mouvements en sens contraires, on a tracé en lignes pleines tous les arcs de cercle sur lesquels les molécules éthérées sont supposées animées du maximum de vitesse en avant, à l'instant que l'on considère, et l'on a ponctué ceux sur lesquels les molécules éthérées ont le maximum de vitesse en arrière. Il en résulte que les intersections des arcs de cercle ponctués avec ceux qui sont tracés en lignes pleines sont les points de discordance complète, et par conséquent les milieux des bandes obscures; et, au contraire, les intersections des arcs semblables donnent les points d'accord parfait ou les milieux des bandes brillantes. On a joint par des lignes ponctuées *br*, *b'r'*, *b'r'*, etc., les intersections correspondantes des arcs de même espèce, et par des lignes pleines *no*, *no*, *n'o'*, *n'o'*, etc., les intersections correspondantes des arcs d'espèces contraires : celles-ci représentent les positions successives ou les trajectoires des milieux des bandes obscures, et celles-là les trajectoires des milieux des bandes brillantes.

« On a été obligé d'amplifier prodigieusement, dans cette figure, la longueur réelle des ondes lumineuses et d'exagérer l'inclinaison respective des deux miroirs. Ainsi il ne faut pas y chercher une image exacte des choses, mais seulement un moyen de se représenter le jeu des interférences dans les ondes qui se coupent sous un angle sensible. »

de largeur possible. On obtiendrait bien une ligne éclairante plus fine avec une lentille d'un plus court foyer; mais l'intensité de la lumière serait affaiblie dans le même rapport; et, pour compenser cet affaiblissement, il faudrait rapprocher en proportion les miroirs et le muriate d'argent de la lentille; ce qui ramènerait la même confusion dans les franges, si elles n'avaient pas une largeur suffisante. C'est la condition la plus difficile à remplir; mais avec un peu d'adresse et beaucoup de patience on en vient toujours à bout.]

XXVIII

OBSERVATIONS SUR LA LUMIÈRE QUI JAILLIT DE L'AIR ET DE L'OXYGÈNE PAR COMPRESSION [1]

M. Saissy, de Lyon, peu de temps après la découverte du briquet pneumatique, trouva que l'oxygène, l'air et le chlore, quand on les introduit dans ce briquet, deviennent lumineux par une compression subite, tandis que, dans des circonstances toutes semblables, les autres gaz restent complétement obscurs.

Ces résultats semblèrent avec raison très-remarquables, et l'on s'accordait assez généralement à les considérer comme les effets de propriétés spéciales dont l'existence dans tel ou tel autre gaz pouvait seulement être découverte par une expérience directe. Je sais, toutefois, de mon confrère et ami Dulong, que dans ses cours il présentait depuis longtemps le phénomène sous un tout

1. Note inédite.

autre jour; qu'il n'y voyait que le simple effet d'une combustion provoquée par le dégagement de chaleur que toute forte compression gazeuse entraîne à sa suite; que, suivant lui, la substance brûlée était la matière grasse ou huileuse dont le cuir du piston de la petite pompe se trouvait imbibé, et qu'ainsi, conformément à l'expérience, les seuls gaz qu'on appelle comburants devaient donner naissance à un dégagement de lumière.

Cette explication faisait évanouir ce que le phénomène avait présenté de singulier; mais quelque naturelle qu'elle dût paraître, on ne pouvait, en l'absence de toute preuve directe, la regarder que comme une simple hypothèse. Cette lacune est maintenant remplie, car dans les expériences de M. Thenard, lorsque les compressions s'effectuaient dans un corps de pompe parfaitement nettoyé et à l'aide d'un piston de feutre de chapeau bien imbibé d'eau; ou, mieux encore, quand la face du piston en contact avec le gaz se trouvait recouverte d'une lame métallique, l'oxygène, l'air et le chlore ne devenaient pas plus lumineux que l'azote, l'hydrogène ou l'acide carbonique.

Je ne dois pas oublier de dire ici que M. Thenard n'avait aucune connaissance de l'explication de M. Dulong, lorsqu'il entreprit les intéressantes expériences dont je viens de rendre compte et qui placent définitivement tous les gaz dans une même catégorie, sous le rapport des dégagements de chaleur qu'opère la compression.

A l'occasion de ce travail, M. Thenard a trouvé que dans le gaz oxygène, à la pression ordinaire, un fragment

de sapin se colore seulement en brun foncé à la température de 350°; mais sous une pression de 260 centimètres son inflammation a lieu avant le 252° degré. Dans l'une et dans l'autre expérience, le sapin reposait par quelques points sur les parois en verre de la cloche qui contenait le gaz. (Le Mémoire de M. Thenard a paru en 1830 dans le XLIV° volume des *Annales de chimie et de physique*, page 181.)

XXIX

SUR LES INTENSITÉS COMPARATIVES DE DIVERSES SOURCES LUMINEUSES

Les sources lumineuses qu'on peut employer dans les cabinets de physique pour mesurer les intensités comparatives de diverses lumières naturelles sont trop variables pour que j'aie cru devoir éclairer mon photomètre avec aucun des appareils ordinairement employés [1]. Il y aurait lieu de faire une étude de toutes les causes qui tendent à changer l'intensité d'une lumière terrestre, qu'elle soit due à une combinaison chimique, qu'elle ait pour origine l'électricité, ou bien qu'elle soit accompagnée d'une plus ou moins grande quantité de chaleur.

Franklin avait remarqué depuis longtemps que si l'on place les flammes de deux chandelles en contact, on obtient sur-le-champ plus de lumière qu'en les laissant brûler séparément à distance, et il attribuait déjà cet effet à l'augmentation de température qu'amène nécessairement le rapprochement des flammes.

1. Voir les premiers Mémoires sur la photométrie, p. 174 et 185.

De Rumford, en perfectionnant cette expérience, montra qu'une lampe formée de plusieurs mèches plates rapprochées les unes des autres de manière à se communiquer mutuellement de la chaleur, donne considérablement plus de lumière pour une dépense d'huile déterminée que l'ensemble de ces mêmes mèches brûlant séparément. Il résulte de là, que durant la combustion d'une mèche plate à l'air libre, il se vaporise beaucoup d'huile en pure perte.

Il était naturel de penser qu'en opérant sur des lampes à double courant d'air on trouverait que la perte de combustible y est sensiblement moindre. Nous avons reconnu, en effet, Fresnel et moi [1], qu'on peut former un bec à deux mèches concentriques qui, recouvert d'une cheminée convenable, donne, dans les circonstances les plus avantageuses, une lumière égale à celle de cinq lampes Carcel pour une consommation d'huile correspondante seulement à celle de quatre et demie de ces lampes. Jamais nous n'avons pu gagner davantage. J'ajouterai même que, dans des becs à trois et à quatre mèches concentriques donnant l'éclat de dix et de vingt quinquets ordinaires, nous avons toujours trouvé, en prenant les lampes d'Argand construites par Carcel comme terme de comparaison, que la quantité d'huile consommée est à très-peu près proportionnelle à la quantité de lumière produite.

Les lampes d'Argand dont on se sert en Angleterre m'ont paru en général moins brillantes que les lampes de

1. Voir la Notice sur les phares, t. III des *Notices scientifiques*, t. VI des *Œuvres*, p. 16 à 28.

Carcel. La supériorité de ces dernières doit tenir en grande partie à la manière ingénieuse dont la mèche y est abreuvée d'huile; mais je me trompe fort si la forme cylindrique qu'ont la plupart des cheminées construites chez nos voisins n'y a pas aussi une bonne part. Nous nous sommes assurés que le coude de la cheminée exerce, par sa forme et sa position, une influence très-notable sur la blancheur et la vivacité de la flamme.

Peut-être, à cette occasion, ne sera-t-on pas fâché de trouver ici les résultats des expériences photométriques que de Rumford avait faites.

Une lampe d'Argand ordinaire, brûlant avec tout son éclat, donne environ autant de lumière que neuf bonnes chandelles bien mouchées.

Représentons l'intensité de la lumière que donne une chandelle commune bien mouchée par........................ 100

En 11 minutes, si l'on cesse de moucher la chandelle, cette intensité sera réduite à.............................. 39

En 19 minutes, à.................................... 23

En 29 minutes, à.................................... 16

Si la chandelle est mouchée ensuite de nouveau, la lumière redevient.. 100

Dans une bougie, les variations ordinaires d'intensité sont comprises entre 100 et 60.

Les poids comparatifs de diverses substances combustibles qu'il faut brûler pour obtenir une même quantité de lumière pourront être calculés par la table suivante :

		Poids de combustible brûlé.
Cire d'abeille...	La bougie est toujours bien mouchée.	100
Suif..........	La chandelle toujours bien mouchée.	101
	La chandelle ayant toujours une longue mèche.....................	229

		Poids de combustible brûlé.
Huile d'olive....	Dans une lampe d'Argand ordinaire.	110
	Dans une lampe commune, à flamme large, claire et sans fumée.......	129
Huile de navette.	Dans la lampe commune...........	125
Huile de lin....	Dans la lampe commune...........	120

On voit par cette table combien la consommation de suif est plus considérable quand une chandelle n'est pas mouchée.

Dans un Mémoire de M. Brande, qui a paru en 1821 dans les *Transactions philosophiques*, on trouve plusieurs expériences sur les facultés lumineuses et calorifiques du gaz oléfiant, du gaz extrait du charbon de terre et du gaz que fournit la décomposition de l'huile, qui nous paraissent intéressantes à rapporter. Nous commencerons par les expériences relatives au gaz oléfiant pur.

Un jet de ce gaz, qui s'échappait par une ouverture ayant $0^{mill}.42$ de diamètre, sous la pression de $0^{m}.013$ d'eau, donnait, quand on l'enflammait, une lumière égale à celle d'une bougie ordinaire, lorsque la dépense du gaz, par heure, s'élevait à $10^{lit}.487$.

Avec le gaz extrait de l'huile, ce même jet égalait la bougie quand la dépense par heure se montait à $13^{lit}.11$.

M. Brande employait, dans ses essais, des bougies de 9 au kilogramme.

Dans l'expérience suivante, M. Brande alluma simultanément 12 jets de $0^{mill}.42$, disposés circulairement sur un anneau de $0^{m}.018$ de diamètre. Il couvrit cette flamme composée d'une cheminée cylindrique semblable à celles des lampes d'Argand, et régla l'ouverture des robinets

de manière qu'il n'y eût point de fumée. La pression qui déterminait la sortie du gaz oléfiant était, comme tout à l'heure, de $0^{m}.013$ d'eau. Il reconnut ainsi que la flamme composée fournissait une lumière égale à celle de dix bougies lorsque la consommation du gaz oléfiant, par heure, se montait à $42^{lit}.6$.

Nous avons trouvé plus haut qu'un simple jet donnait la lumière d'une bougie par une consommation de $10^{lit}.487$; ce nombre, multiplié par 10, donne $104^{lit}.87$. Telle serait la quantité de gaz, par simples jets, qui semblerait devoir correspondre à dix bougies. L'expérience directe n'a donné que $42^{lit}.6$; la quantité de lumière qu'a fournie un volume déterminé de gaz a donc augmenté dans un très-grand rapport, par cela seul qu'on a fait brûler plusieurs jets les uns à côté des autres[1].

D'après M. Brande, on produit pendant une heure une quantité de lumière égale à celle de dix bougies, en brûlant :

$42^{lit}.6$ de gaz oléfiant pur;
$79^{lit}.87$ de gaz extrait de l'huile;
$214^{lit}.98$ de gaz tiré du charbon de terre.

Dans les épreuves faites avec le gaz extrait de l'huile, M. Brande a employé l'appareil à douze jets de $0^{mill}.42$

1. Pour avoir le droit d'assurer que le rapprochement des jets enflammés a contribué pour beaucoup à augmenter la quantité de lumière produite, il aurait fallu que le jet simple se trouvât soumis, comme chacun de ceux dont se composait le jet multiple, à l'influence du courant d'air déterminé par une cheminée de verre; ou bien que la combustion, dans les deux cas, se fît à l'air libre et sans cheminée, conditions auxquelles M. Brande ne s'est nullement astreint.

chacun, qui lui avait servi pour le gaz oléfiant pur. Mais l'expérience ayant appris que les ouvertures doivent être considérablement plus larges pour que le gaz extrait du charbon de terre brûle convenablement, on allumait simultanément, dans les essais faits avec ce dernier gaz, douze jets de 0^{mill}.84 chacun, disposés sur le contour d'un anneau circulaire de 0^{m}.029 de diamètre.

Un mélange de trois parties de gaz oléfiant et d'une partie d'hydrogène donne la même lumière que le gaz extrait de l'huile.

Pour essayer les facultés calorifiques de ces diverses espèces de flammes, on alimentait successivement la lampe à douze jets dont nous avons parlé avec le gaz de l'huile, avec celui du charbon de terre et avec le gaz oléfiant. Au-dessus de la cheminée, mais à une telle distance que la flamme ne perdît rien de son éclat, on plaçait un petit vase en cuivre de 0^{m}.13 de diamètre et de 0^{m}.064 de profondeur, légèrement concave à sa surface inférieure. Ce vase rempli d'eau, renfermait un thermomètre ; une petite ouverture donnait issue à la vapeur. L'expérience était finie quand le liquide entrait en ébullition. Voici les résultats.

L'eau était primitivement à + 10° centigrades. Pour la porter de cette température à celle de 100°, on a brûlé :

14$^{lit.}$.26 de gaz oléfiant ;
20$^{lit.}$.3 de gaz tiré de l'huile ;
35$^{lit.}$.89 de gaz de charbon de terre.

La lumière de la flamme produite par un jet de gaz oléfiant, concentrée au foyer d'une lentille plano-convexe,

sur la boule d'un petit thermomètre à mercure, occasionnait en cinq minutes une ascension de 2°.5 centigrades. Quant à la lentille de verre elle-même, quoiqu'elle fût épaisse, sa température n'augmentait pas.

Cette expérience, dit M. Brande, d'accord avec celles de Maycock et de Laroche, prouve que les rayons calorifiques qui émanent des corps combustibles communs sont capables, comme les rayons calorifiques du Soleil, de traverser les milieux diaphanes. Mais c'est à tort, je crois, que M. Brande cite Maycock et Laroche comme ayant observé les premiers la propriété dont jouissent les rayons calorifiques émanés des corps combustibles communs de traverser les milieux diaphanes. J'ai donné ailleurs[1] l'ordre chronologique des découvertes expérimentales qui ont été faites dans cette branche importante de la physique.

J'ai trouvé dans mes expériences photométriques que la lumière atmosphérique dans le voisinage du Soleil est $\frac{1}{500^e}$ de la lumière moyenne du disque radieux[2]; d'autres expériences faites par les mêmes procédés m'ont démontré que la lumière d'une bougie est $\frac{1}{30^e}$ de la lumière dont se trouve éclairée l'atmosphère dans la partie qui se projette autour de l'astre solaire. Il en résulte que l'intensité de la flamme d'une bougie est la quinze-millième partie de l'éclat dont le Soleil nous paraît briller à la surface de la Terre.

La lumière d'un bec d'Argand équivaut à celle de 7 bougies; l'intensité lumineuse d'un bec de gaz est celle

1. Voir t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *OEuvres*, p. 530.
2. Voir le cinquième Mémoire sur la photométrie, p. 254.

de 9 bougies. Enfin dans des expériences anciennes, en cherchant par mes méthodes photométriques dans quel rapport il fallait diminuer l'intensité du Soleil pour la rendre égale à celle qui est répandue par des charbons mis en communication avec les deux pôles d'une pile de 300 éléments, j'ai trouvé que la lumière solaire était seulement 4 à 5 fois plus intense que celle de la pile électrique.

XXX

SUR L'INTENSITÉ COMPARATIVE DES DIVERSES PARTIES DU DISQUE SOLAIRE [1]

Des phénomènes de la polarisation colorée donnent la certitude que le bord du Soleil n'a pas une intensité de lumière notablement différente de celle du centre ; car en plaçant dans le polariscope un segment du bord sur un segment du centre, j'obtiens (comme effet complémentaire du rouge et du bleu) un blanc pur. Dans un corps solide (dans une boule de fer chauffée au rouge) le même angle de vision embrasse une plus grande étendue au bord qu'au centre, selon la proportion du cosinus de l'angle ; mais, dans la même proportion aussi, le plus grand nombre de points matériels émettent une lumière plus faible en raison de leur obliquité. Le rapport de l'angle est naturellement le même pour une sphère gazeuse ; mais l'obliquité ne produisant pas dans les gaz le même effet de diminution que dans les corps solides, le bord de la

1. Note publiée dans le troisième volume du *Cosmos* de M. de Humboldt à qui M. Arago l'a remise en 1847. — Voir le quatrième Mémoire sur la photométrie, p. 234 à 241.

sphère gazeuse serait plus lumineux que le centre. Ce que nous appelons le disque lumineux du Soleil est la photosphère gazeuse, comme je l'ai prouvé en constatant le manque absolu de traces de polarisation sur le bord du disque. Pour expliquer donc l'égalité d'intensité du bord et du centre indiquée par le polariscope, il faut admettre une enveloppe extérieure qui diminue (éteint) moins la lumière qui vient du centre que les rayons qui viennent sur le long trajet du bord à l'œil. Cette enveloppe extérieure forme la couronne blanchâtre dans les éclipses totales du Soleil. La lumière qui émane des corps solides et liquides incandescents est partiellement polarisée quand les rayons observés forment avec la surface de sortie un angle d'un petit nombre de degrés; mais il n'y a aucune trace sensible de polarisation lorsqu'on regarde de la même manière dans le polariscope des gaz enflammés. Cette expérience démontre que la lumière solaire ne sort pas d'une masse solide ou liquide incandescente.

La lumière ne s'engendre pas uniquement à la surface des corps; une portion naît dans leur substance même, cette substance fût-elle du platine. Ce n'est donc pas la décomposition de l'oxygène ambiant qui donne la lumière. L'émission de lumière polarisée par le fer liquide est un effet de réfraction au passage vers un milieu d'une moindre densité. Partout où il y a réfraction, il y a production d'un peu de lumière polarisée. Les gaz n'en donnent pas, parce que leurs couches n'ont pas assez de densité. La Lune, suivie pendant le cours d'une lunaison entière, offre des effets de polarisation, excepté à l'époque de la pleine lune et des jours qui en approchent beaucoup.

La lumière solaire trouve, surtout dans les premiers et les derniers quartiers, à la surface inégale (montagneuse) de notre satellite des inclinaisons de plans convenables pour produire la polarisation par réflexion.

XXXI

NOTE SUR LES EXPÉRIENCES DE BOUGUER RELATIVES A L'INTENSITÉ LUMINEUSE DU BORD ET DU CENTRE DU SOLEIL [1]

Bouguer pense que la circonstance qui empêche de bien apercevoir la différence qui existe entre l'intensité de la lumière du centre du Soleil et celle de son bord, est l'impossibilité de porter l'œil d'un point à l'autre sans passer par les points intermédiaires, dont les intensités doivent être comprises entre celles des points extrêmes : l'auteur n'indique pas les moyens dont il s'est servi pour remédier à cet inconvénient. Il semble d'ailleurs qu'on doit toujours se méfier un peu d'un genre d'observation dont la bonté dépend uniquement du tact plus ou moins exercé et plus ou moins délicat de l'observateur.

XXXII

MÉTHODE POUR COMPARER LES INTENSITÉS DES DIVERSES PARTIES DU DISQUE DU SOLEIL [2]

Si deux prismes de cristal de roche sont mobiles dans l'intérieur d'une lunette, on verra deux images lorsque

1. Note inédite.
2. Note inédite relative au quatrième Mémoire sur la photométrie, p. 236.

leurs sections principales seront parallèles ou perpendiculaires, et quatre dans toutes les autres positions. En partant d'un point où l'on ne voit que deux images, si l'on fait tourner l'un des prismes, chaque image s'affaiblira proportionnellement au carré du cosinus de l'angle qui exprime la quantité de la rotation circulaire du prisme. Ainsi 1 représentant l'intensité de la lumière de chaque image au point de départ, $\cos x^2$ représentera cette même intensité lorsque l'un des prismes aura tourné de x° et les images secondaires seront représentées par $(1 - \cos^2 x)$. On voit par là que la quantité de lumière qui passe de la première image à la seconde est toujours connue; or, avec la lunette prismatique on peut séparer entièrement les images, les rendre tangentes ou les superposer plus ou moins. Si on les superpose et si ensuite on tient compte de la quantité du mouvement angulaire donné au prisme, on pourra faire plusieurs expériences intéressantes. Supposons, par exemple, qu'on fasse tourner le prisme jusqu'au moment où le bord de la seconde image qui se projette sur la première commence à devenir sensible; il sera facile de déduire de là la valeur du rapport dans lequel doivent se trouver les intensités des deux images pour que l'une fasse entièrement disparaître l'autre. Si nous admettons maintenant avec Bouguer que le bord et le centre du Soleil n'ont pas la même intensité, la seconde image ne disparaîtra que par parties pendant la rotation du prisme. L'observation de ces disparitions successives n'est peut-être pas un mauvais moyen de comparer ensemble les intensités des diverses parties du disque du Soleil.

XXXIII

SUR LA DISTRIBUTION DE LA CHALEUR A LA SURFACE DU DISQUE SOLAIRE [1]

Dans les communications sur la photométrie que je fis à l'Académie il y a deux ans, je m'occupai, dans les séances des 29 avril et 20 mai 1850, de la constitution physique du Soleil [2]. Après avoir rapporté les expériences d'après lesquelles j'avais cru pouvoir conclure que la matière incandescente du Soleil est gazeuse, je citai en détail les observations qui me paraissaient démontrer que les nombres donnés par Bouguer comme exprimant les intensités lumineuses comparatives du centre et du bord de cet astre, ne sont pas admissibles, quoique Laplace se soit appuyé sur ces mêmes nombres pour déterminer la faculté absorbante de l'atmosphère solaire. Amené ainsi à parler des propriétés intimes des rayons lumineux partis du bord et du centre du Soleil, je citai les expériences de M. Forbes faites, en 1836, pendant une éclipse annulaire, et desquelles il résulte que, eu égard aux bandes obscures de Frauenhofer, ces deux espèces de rayons sont exactement composés de la même manière; conséquence remarquable et qui se déduit, quoique moins directement, d'une expé-

1. Cette Note a été insérée par M. Arago dans le tome XXXIV, p. 657 (année 1852) des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* à titre de remarques sur une communication dans laquelle le Père Secchi a fait connaître les résultats de quelques expériences ayant pour but de mesurer l'intensité relative des températures des divers points du disque du Soleil.

2. Voir précédemment, p. 230 et 251.

rience de M. Mathiessen, insérée aussi dans les *Comptes rendus* (t. XXV, p. 548).

En passant ensuite à l'action photographique des rayons partis du centre et de ceux qui émanent de points situés près des bords du disque, j'avouai sans détour qu'on s'était trompé en concluant l'égalité de cette action de la teinte uniforme qu'offraient des images photographiques du Soleil, par la raison que la matière impressionnable avait été exposée à l'action solaire un temps trop prolongé. J'eus alors l'occasion de rapporter les observations très-ingénieuses faites par MM. Foucault et Fizeau et dans lesquelles la diversité d'action photographique des rayons du centre et des rayons du bord avait été manifeste, la matière impressionnable n'ayant été cette fois exposée à l'image solaire que pendant une très-petite fraction de seconde. Je complétai cette énumération en faisant remarquer qu'il restait encore à essayer la force thermométrique des rayons partant de divers points du disque solaire, et j'annonçai l'intention d'instituer des expériences pour arriver à ce sujet à des conclusions inattaquables, les expériences que j'avais faites anciennement en plaçant des thermomètres en divers points de l'image fournie par l'objectif non achromatique du gnomon de notre salle méridienne m'ayant semblé sujettes à des difficultés fondées. Depuis lors je n'ai pas perdu de vue cet objet. Le système d'expériences qui devait être suivi dans les nouvelles recherches était très-simple : il fallait, avec un bon objectif achromatique, se procurer une image bien nette et de dimensions suffisantes pour qu'on pût placer simultanément, en divers points de cette image, les boules de thermomètres comparables et

très-sensibles donnant des centièmes de degré, par exemple.

Dès que mon attention se fut portée sur les thermomètres exceptionnels nécessaires à la réussite de l'expérience, le nom de mon ami M. Walferdin me vint naturellement à la pensée. Je proposai à cet ingénieux observateur de se charger des essais auxquels l'état de mes yeux ne me permettait plus de prendre une part directe. Mon offre fut acceptée avec empressement. Je fis alors choix, pour arriver au but, d'une excellente lunette achromatique de Lerebours, ayant $0^{m}.21$ d'ouverture et 6 mètres de distance focale.

Il fallait, pour adapter les thermomètres à l'image, des dispositions particulières, dont je m'occupai peu de mois après ma communication à l'Institut, comme on pourra le voir par l'extrait ci-joint du procès-verbal de la séance du Bureau des longitudes du 11 septembre 1850 :

« M. Arago entretient le Bureau d'expériences qu'il compte faire faire prochainement sur les propriétés calorifiques du centre et du bord du Soleil, et il donne à M. Lerebours quelques indications sur la construction de l'appareil nécessaire. »

Peu de jours suffirent à M. Lerebours pour terminer ce que je lui avais demandé, et l'appareil désiré fut adapté au grand pied qui figure dans le vestibule de l'Observatoire ouvert au public et où chacun a pu le voir.

Malheureusement la santé de M. Walferdin ne lui permit pas de commencer les expériences. Aujourd'hui même, atteint d'une indisposition grave qui le retient au lit, il lui serait impossible de se livrer aux observations minu-

tieuses et délicates dont il avait bien voulu se charger à ma prière.

C'est dans ces circonstances que nous est arrivée de Rome la Note insérée dans le dernier Compte rendu et renfermant des observations faites par le père jésuite Secchi, à la fin du mois de mars 1852, sur l'action thermométrique comparative des rayons du bord et de ceux du centre du Soleil. Que le Père Secchi ait ou n'ait pas connu ce qui avait été projeté à Paris, le résultat qu'il a obtenu, je m'empresse de le reconnaître, est sa propriété et devra être inscrit dans les annales de la science sous son nom.

Tout ce que j'ai voulu établir, c'est que lorsque l'état de la santé de M. Walferdin lui permettra de revenir à notre projet, il pourra le faire sans craindre qu'on l'accuse d'être entré dans un champ de recherches ouvert par un autre. Si j'avais à émettre une opinion sur les résultats très-intéressants obtenus par le Père Secchi, je dirais qu'ils ont grandement besoin de vérification ; qu'au surplus, ils ne sont pas autant qu'on pourrait le croire en dehors des prévisions des astronomes. William Herschel avait, en effet, soupçonné que le Soleil se composait de deux hémisphères dissemblables; les étoiles, ou si l'on veut, les soleils variables, ne nous apprennent-elles pas qu'à côté d'une portion de l'astre resplendissant peut se trouver une autre portion d'où il n'émane aucun rayon lumineux ?

Des observations certaines ont montré d'ailleurs des changements rapides très-sensibles dans le nombre des lucules ou dans le pointillé du Soleil, ce qui permettait de s'attendre à des variations journalières dans la tempé-

rature, provenant de l'ensemble des rayons que le Soleil nous envoie et aussi dans celle des rayons particuliers qui émanent des différents points du disque.

XXXIV

D'UN DES EFFETS DES LUNETTES SUR LA VISIBILITÉ DES ÉTOILES [1]

L'œil n'est doué que d'une sensibilité circonscrite, bornée. Quand la lumière qui frappe la rétine n'a pas assez d'intensité, l'œil ne sent rien. C'est par un manque d'intensité que beaucoup d'étoiles, même dans les nuits les plus profondes, échappent à nos observations. Les lunettes ont pour effet, quant aux étoiles, d'augmenter l'intensité de l'image. Le faisceau cylindrique de rayons parallèles venant d'une étoile qui s'appuie sur la surface de la lentille objective et qui a cette surface pour base, se trouve considérablement resserré à la sortie de la lentille oculaire. Le diamètre du premier cylindre est au diamètre du second comme la distance focale de l'objectif est à la distance focale de l'oculaire, ou bien comme le diamètre de l'objectif est au diamètre de la portion d'oculaire qu'occupe le faisceau émergent. Les intensités de lumière dans les deux cylindres en question (dans les deux

1. Lettre écrite en décembre 1847 par M. Arago à M. Alexandre de Humboldt, et insérée dans le tome III du *Cosmos*, p. 296. — Plusieurs passages de cette lettre ont été en partie reproduits dans le livre V de l'*Astronomie populaire* (t. I, p. 186). — Cette lettre éclaircit quelques-uns des points traités dans le second chapitre du cinquième Mémoire sur la photométrie (p. 255 à 260), en ce qui concerne les phénomènes de la vision et de la visibilité.

cylindres incident et émergent) doivent être entre elles comme les étendues superficielles des bases. Ainsi la lumière émergente sera plus condensée, plus intense que la lumière naturelle tombant sur l'objectif, dans le rapport de la surface de cet objectif à la surface circulaire de la base du faisceau émergent. Le faisceau émergent, quand la lunette grossit, étant plus étroit que le faisceau cylindrique qui tombe sur l'objectif, il est évident que la pupille, quelle que soit son ouverture, recueillera plus de rayons par l'intermédiaire de la lunette que sans elle. La lunette augmentera donc toujours l'intensité de la lumière des étoiles.

Le cas le plus favorable, quant à l'effet des lunettes, est évidemment celui où l'œil reçoit la totalité du faisceau émergent, le cas où ce faisceau a moins de diamètre que la pupille. Alors toute la lumière que l'objectif embrasse concourt, par l'entremise du télescope, à la formation de l'image. A l'œil nu, au contraire, une portion seule de cette même lumière est mise à profit : c'est la petite portion que la surface de la pupille découpe dans le faisceau incident naturel. L'intensité de l'image télescopique d'une étoile est donc à l'intensité de l'image à l'œil nu, comme la surface de l'objectif est à celle de la pupille.

Ce qui précède est relatif à la visibilité d'un seul point, d'une seule étoile. Venons à l'observation d'un objet ayant des dimensions angulaires sensibles, à l'observation d'une planète. Dans les cas les plus favorables, c'est-à-dire lorsque la pupille reçoit la totalité du pinceau émergent, l'intensité de l'image de chaque point de la planète se calculera par la proportion que nous venons de donner.

La quantité totale de lumière concourant à former l'ensemble de l'image à l'œil nu sera donc aussi à la quantité totale de lumière qui forme l'image de la planète à l'aide d'une lunette comme la surface de la pupille est à la surface de l'objectif. Les intensités comparatives, non plus de points isolés, mais des deux images d'une planète, qui se forment sur la rétine à l'œil nu et par l'intermédiaire d'une lunette, doivent évidemment diminuer proportionnellement aux étendues superficielles de ces deux images. Les dimensions linéaires des deux images sont entre elles comme le diamètre de l'objectif est au diamètre du faisceau émergent. Le nombre de fois que la surface de l'image amplifiée surpasse la surface de l'image à l'œil nu s'obtiendra donc en divisant le carré du diamètre de l'objectif par le carré du diamètre du faisceau émergent, ou bien la surface de l'objectif par la surface de la base circulaire du faisceau émergent.

Nous avons déjà obtenu le rapport des quantités totales de lumière qui engendrent les deux images d'une planète, en divisant la surface de l'objectif par la surface de la pupille. Ce nombre est plus petit que le quotient auquel on arrive en divisant la surface de l'objectif par la surface du faisceau émergent. Il en résulte, quant aux planètes, qu'une lunette fait moins gagner en intensité de lumière qu'elle ne fait perdre en agrandissant la surface des images sur la rétine; l'intensité de ces images doit donc aller continuellement en s'affaiblissant à mesure que le pouvoir amplificatif de la lunette ou du télescope s'accroît.

L'atmosphère peut être considérée comme une planète

à dimensions indéfinies. La portion qu'on en verra dans une lunette subira donc aussi la loi d'affaiblissement que nous venons d'indiquer. Le rapport entre l'intensité de la lumière d'une planète et le champ de lumière atmosphérique à travers lequel on la verra sera le même à l'œil nu et dans les lunettes de tous les grossissements, de toutes les dimensions. Les lunettes, sous le rapport de l'intensité, ne favorisent donc pas la visibilité des planètes.

Il n'en est point ainsi des étoiles. L'intensité de l'image d'une étoile est plus forte avec une lunette qu'à l'œil nu ; au contraire, le champ de la vision, uniformément éclairé dans les deux cas par la lumière atmosphérique, est plus clair à l'œil nu que dans la lunette. Il y a donc deux raisons, sans sortir des considérations d'intensité, pour que dans une lunette l'image de l'étoile prédomine sur celle de l'atmosphère notablement plus qu'à l'œil nu.

Cette prédominance doit aller graduellement en augmentant avec le grossissement. En effet, abstraction faite de certaine augmentation de diamètre de l'étoile, conséquence de divers effets de diffraction ou d'interférences, abstraction faite aussi d'une plus forte réflexion que la lumière subit sur les surfaces plus obliques des oculaires de très-courts foyers, l'intensité de la lumière de l'étoile est constante tant que l'ouverture de l'objectif ne varie pas. Comme on l'a vu, la clarté du champ de la lunette, au contraire, diminue sans cesse à mesure que le pouvoir amplificatif s'accroît. Donc, toutes autres circonstances restant égales, une étoile sera d'autant plus visible, sa prédominance sur la lumière du champ du télescope sera

d'autant plus tranchée qu'on fera usage d'un grossissement plus fort.

XXXV

SUR LES CAUSES QUI FONT DISPARAÎTRE LES ÉTOILES PENDANT LE JOUR [1]

On observe qu'une lumière forte fait disparaître une lumière faible placée dans le voisinage. Quelle peut en être la cause? Il est possible physiologiquement que l'ébranlement communiqué à la rétine par la lumière forte s'étende au delà des points que la lumière forte a frappés et que cet ébranlement secondaire absorbe et neutralise en quelque sorte l'ébranlement provenant de la seconde et faible lumière. Mais sans entrer dans ces causes physiologiques, il y a une cause directe qu'on peut indiquer pour la disparition de la faible lumière : c'est que les rayons provenant de la grande n'ont pas seulement formé une image nette sur la rétine, mais se sont dispersés aussi sur toutes les parties de cet organe, à cause des imperfections de transparence de la cornée. Les rayons du corps plus brillant *a*, en traversant la cornée, se comportent comme en traversant un corps légèrement dépoli. Une partie de ces rayons réfractés régulièrement forme l'image même de *a*, l'autre partie dispersée éclaire la totalité de la rétine. C'est donc sur ce fond lumineux que se projette l'image de l'objet voisin *b*. Cette dernière image doit donc ou disparaître ou être

1. Note remise en 1847 par M. Arago à M. de Humboldt, et insérée dans le tome III du *Cosmos*, p. 287.

affaiblie. De jour, deux causes contribuent à l'affaiblissement des étoiles : l'une de ces causes c'est l'image distincte de cette portion de l'atmosphère comprise dans la direction de l'étoile (de la portion aérienne placée entre l'œil et l'étoile) et sur laquelle l'image de l'étoile vient se peindre ; l'autre cause, c'est la lumière diffuse provenant de la dispersion que les défauts de la cornée impriment aux rayons émanant de tous les points de l'atmosphère visible. De nuit, les couches atmosphériques interposées entre l'œil et l'étoile vers laquelle on vise n'agissent pas ; chaque étoile du firmament forme une image plus nette, mais une partie de leur lumière se trouve dispersée à cause du manque de diaphanéité de la cornée. Le même raisonnement s'applique à une deuxième, troisième,..... millième étoile. La rétine se trouve donc éclairée en totalité par une lumière diffuse, proportionnelle au nombre de ces étoiles et à leur éclat. On conçoit par là que cette somme de lumière diffuse affaiblisse ou fasse entièrement disparaître l'image de l'étoile vers laquelle on dirige la vue.

XXXVI

SUR LA VISION CONFUSE[1].

Les principales causes de la vue indistincte sont : aberration de sphéricité de l'œil, diffraction sur les bords

1. Note insérée dans le tome III du *Cosmos* (p. 331) et donnée par M. de Humboldt comme extraite des manuscrits de M. Arago, de 1834 et de 1847.

de la pupille, communication d'irritabilité à des points voisins sur la rétine. La vue confuse est celle où le foyer ne tombe pas exactement sur la rétine, mais tombe ou devant ou derrière la rétine. Les queues des étoiles sont l'effet de la vision indistincte, autant qu'elle dépend de la constitution du cristallin. D'après un très-ancien Mémoire de Hassenfratz (1809) « les queues, au nombre de 4 ou 8, qu'offrent les étoiles ou une bougie vue à 25 mètres de distance, sont les caustiques du cristallin formées par l'intersection des rayons réfractés. » Ces caustiques se meuvent à mesure que nous inclinons la tête. La propriété de la lunette de terminer l'image fait qu'elle concentre dans un petit espace la lumière qui sans cela en aurait occupé un plus grand. Cela est vrai pour les étoiles fixes et pour les disques des planètes. La lumière des étoiles qui n'ont pas de disques réels conserve la même intensité, quel que soit le grossissement. Le fond de l'air, duquel se détache l'étoile dans la lunette, devient plus noir par le grossissement, qui dilate les molécules de l'air qu'embrasse le champ de la lunette. Les planètes à vrai disque deviennent elles-mêmes plus pâles par cet effet de dilatation. Quand la peinture focale est nette, quand les rayons partis d'un point de l'objet se sont concentrés en un seul point dans l'image, l'oculaire donne des résultats satisfaisants. Si, au contraire, les rayons émanés d'un point ne se réunissent pas au foyer en un seul point, s'ils y forment un petit cercle, les images de deux points contigus de l'objet empiètent nécessairement l'une sur l'autre; leurs rayons se confondent. Cette confusion, la lentille oculaire ne saurait la faire disparaître.

L'office qu'elle remplit exclusivement, c'est de grossir; elle grossit tout ce qui est dans l'image, les défauts comme le reste. Les étoiles n'ayant pas de diamètres angulaires sensibles, ceux qu'elles conservent toujours tiennent pour la plus grande partie au manque de perfection des instruments (à la courbure moins régulière donnée aux deux faces de la lentille objective) et à quelques défauts et aberrations de notre œil. Plus une étoile semble petite, tout étant égal quant au diamètre de l'objectif, au grossissement employé et à l'éclat de l'étoile observée, et plus la lunette a de perfection. Or le meilleur moyen de juger si les étoiles sont très-petites, si des points sont représentés au foyer par de simples points, c'est évidemment de viser à des étoiles excessivement rapprochées entre elles et de voir si dans les étoiles doubles connues les images se confondent, si elles empiètent l'une sur l'autre ou bien si on les aperçoit bien nettement séparées.

XXXVII

SUR DES PHÉNOMÈNES DE DEMI-CÉCITÉ

[Wollaston a publié dans les *Transactions philosophiques* pour 1824 un Mémoire intitulé de la *Semi-décussation des nerfs optiques*, dans lequel se trouvent cités trois exemples de demi-cécité. Les deux premiers accidents ont été éprouvés par Wollaston lui-même, qui les décrit ainsi :

I. « Il y a maintenant plus de vingt ans que j'éprouvai cet état particulier de la vision dont je veux parler, à la suite d'un violent exercice de deux ou trois heures. Je

reconnus soudainement que je ne pouvais voir que la moitié de la figure d'un homme qui se trouva sur mon chemin; le même effet avait lieu, quel que fût l'objet que je regardasse. Ayant essayé de lire le nom JOHNSON sur une porte, je voyais seulement... SON : le commencement du mot était totalement caché à mes regards. La perte de la vue, dans cet exemple particulier, avait eu lieu à gauche, soit que je regardasse avec l'un ou avec l'autre œil. Cette cécité n'était pas néanmoins tout à fait complète; mais les objets paraissaient couverts d'une ombre intense et sans limites bien définies. La maladie dura peu de temps : en un quart d'heure elle s'était entièrement dissipée. La sensibilité revint graduellement en partant du centre et en s'avançant obliquement vers la gauche en montant. »

II. « Il y a maintenant quinze mois environ qu'une semblable affection se développa chez moi sans qu'il m'ait été possible d'en assigner la cause ou de la rattacher à quelque indisposition passée ou future. Je m'en aperçus aussi en regardant la figure d'une personne que je rencontrai et dont je ne voyais pas l'œil gauche. Ma cécité, dans ce dernier cas, était l'inverse de la première, puisque c'était à ma droite (et non pas à ma gauche) par rapport au point vers lequel je dirigeais la vue, que les objets étaient invisibles.

« Le nouveau *punctum cæcum* était semblablement situé dans les deux yeux et à environ 3 degrés du centre; car si les objets se trouvaient à la distance de 4 à 5 mètres, le point invisible était à environ 0^{m}.25 de celui sur lequel je dirigeais la vue.

« L'affection, après avoir duré sans altération sensible pendant vingt minutes, se dissipa subitement par l'émotion que j'éprouvai en apprenant l'heureuse arrivée d'un ami qui s'était jeté dans une entreprise très-hasardeuse. »

Le troisième cas de cécité décrit par Wollaston a été observé sur un de ses amis. « Après avoir souffert, dit-il, pendant plusieurs jours, d'une douleur aiguë dans la tête, près de la tempe gauche et vers le derrière de l'œil, la vue de mon ami se trouva considérablement gâtée : d'autres symptômes indiquaient une légère compression sur le cerveau.

« Ce ne fut qu'après trois ou quatre semaines que je le vis, et je découvris, sans parler de plusieurs autres affections qu'il serait inutile d'énumérer, qu'il avait un défaut dans la vision semblable à celui qui m'était arrivé à moi-même. Ce défaut était plus étendu, et malheureusement il a été plus persistant : au moment où la maladie se déclara, comme à présent, les points invisibles étaient situés à gauche du centre de la vision. Le champ est assez étendu pour que mon ami puisse lire parfaitement ; il voit ce qu'il écrit, la plume qu'il emploie, mais non pas la main qui la conduit. Cette affection, autant qu'on en peut juger, est la même dans les deux yeux et consiste dans l'insensibilité de la rétine à gauche de chaque œil. Il est très-probable qu'un épanchement eut lieu à l'instant où se manifestèrent les douleurs sur le côté gauche de la tête, et qu'il a laissé une compression permanente sur le thalamus de gauche. Cette cécité partielle s'est maintenue trop longtemps sans aucune amélioration sensible pour qu'il ne soit pas douteux que mon ami puisse jamais

recouvrer la perception sensible des objets situés à sa gauche. »

A la suite de la traduction du Mémoire de Wollaston, dans le tome XXVII des *Annales de chimie et de physique*, M. Arago a ajouté la note suivante.]

L'affection décrite par Wollaston est assez commune. Je connais quatre personnes qui y sont sujettes et j'en ai moi-même éprouvé trois atteintes depuis un mois. La première et la seconde fois, je ne voyais pas les objets situés à droite de l'axe de la vision ; la troisième fois, le 27 septembre 1824, les objets à droite étaient, au contraire, les seuls que j'apercevais. Ayant, par exemple, dirigé mes regards sur le jambage de droite de l'*m* du mot *baromètre* écrit en grosses lettres au-dessus d'un instrument, je voyais parfaitement ce trait et les lettres suivantes *ètre*; mais je n'apercevais aucunement ni le premier jambage de cette même lettre *m* ni *baro*. Quel que fût celui des yeux dont je me servisse, le phénomène avait également lieu. Un mal de tête, qui avait son siége à droite au-dessus de l'œil, se manifesta, après une vingtaine de minutes, quand cette demi-cécité eut cessé.

Je dois dire ici qu'alors même que la disparition d'une moitié des objets était totale dans le voisinage de l'axe de la vision, il m'a semblé quelquefois entrevoir de légères traces de points placés relativement à mon œil plus obliquement que ceux qui échappaient ainsi à mes regards.

Puisqu'une moitié de la rétine peut être momentanément privée de sensibilité, on doit s'attendre que, dans certaines affections du cerveau, le même organe, sans

offrir entre ses diverses parties des différences aussi tranchées, ne sera pas, néanmoins, également propre, dans toute son étendue, à percevoir de faibles impressions lumineuses.

Les observations m'ont prouvé depuis longtemps que ceci n'est point une simple hypothèse. Voici, par exemple, ce que je trouve dans un de mes registres, à la date du 13 février 1822 :

« Ce satellite (de Saturne) était extrêmement faible dans notre lunette de quatre pouces ($0^m.108$) d'ouverture ; je l'apercevais à peine et seulement pendant des instants très-courts quand je portais mes regards avec l'attention la plus soutenue sur l'endroit où il était ; mais si ma vue s'arrêtait sur le bord de l'anneau le plus éloigné du satellite, celui-ci se voyait aussitôt très-distinctement.

« Un autre satellite ne s'apercevait qu'avec la lunette de sept pouces et demi ($0^m.203$) d'ouverture ; mais alors même, pour le découvrir, j'étais obligé de diriger mon axe visuel, non pas sur le satellite lui-même, mais sur le bord de l'anneau. »

Ces observations, dans lesquelles je ne parvenais à découvrir des objets extrêmement faibles qu'en ne les regardant pas directement, me paraissent prouver d'une manière incontestable que toutes les parties de la rétine n'étaient pas alors douées du même degré de sensibilité. Peut-être cette remarque méritera-t-elle de fixer l'attention des astronomes.

XXXVIII

SUR LE GENRE D'AFFECTION DE LA VUE DÉSIGNÉ SOUS LE NOM D'HÉMÉRALOPIE

[Le compte-rendu de la séance de l'Académie des sciences du 23 août 1846 renferme la mention suivante :

« M. le docteur Magne, oculiste du bureau de bienfaisance du premier arrondissement, a adressé une note sur une altération particulière de l'organe de la vue. »

« Le sujet de cette observation, dit M. Magne, M. C., employé de l'administration des tabacs dans le département de Lot-et-Garonne, perd la vue à la chute du jour pour ne la recouvrer que le lendemain ; cette fâcheuse disposition qui a été reconnue très-peu de temps après la naissance, paraît aujourd'hui faire quelques progrès et c'est ce qui a déterminé M. C. à venir à Paris réclamer les secours de l'art. »

« A l'occasion de cette communication M. Roux et M. Velpeau font observer qu'il est connu depuis un grand nombre de siècles que certains individus ne voient que de jour et perdent la vue aussitôt que la nuit arrive. »

Après cette mention, M. Arago a inséré les remarques suivantes :]

Le Secrétaire perpétuel fait remarquer que si les cas d'héméralopie que l'on cite sont relatifs à des personnes qui auraient besoin d'une très-forte lumière pour bien voir, ces cas mériteraient à peine d'obtenir une place dans les annales de la science et d'être désignés par un nom particulier; que si l'on a entendu parler d'individus

qui, à égalité d'intensité, voyaient bien avec la lumière naturelle du jour et auraient été en quelque sorte aveugles avec la lumière artificielle, le phénomène serait complétement inexplicable dans l'état actuel de nos connaissances sur l'optique et sur la manière dont la vision s'opère.

XXXIX

DE L'INFLUENCE DU MOUVEMENT SUR LA VISIBILITÉ DES OBJETS [1]

En me promenant sur la terrasse de l'Observatoire je voyais sur le sol deux ombres de mon corps dont l'une était produite par la lumière qui venait directement du Soleil et l'autre par les rayons réfléchis sur les carreaux de la fenêtre. Cette dernière ombre variait d'intensité d'une manière très-sensible lorsque je changeais de place, parce que la quantité de lumière réfléchie par les vitres éprouvait elle-même de grands changements. Or, lorsque l'ombre est très-faible j'ai constamment remarqué que le mouvement facilite singulièrement sa visibilité ; en sorte que même dans des circonstances où elle est tout à fait insensible dans l'état de repos, il suffit d'un mouvement un peu brusque du corps opaque pour qu'on l'aperçoive très-nettement.

Il faudra répéter cette expérience pendant la nuit sur les ombres produites par deux chandelles très-inégalement éloignées d'un corps opaque et d'un écran.

1. Note placée dans le registre des observations de M. Arago pour 1815. — Voir le cinquième Mémoire sur la photométrie, p. 256.

On devra examiner ensuite la liaison qu'il peut y avoir entre cette expérience et l'observation des étoiles en plein jour. Le grand avantage qu'offrent les forts grossissements dans l'observation des petits objets ou des objets très-faibles ne tiendrait-il pas principalement à la circonstance que ces forts grossissements augmentent le mouvement apparent ?

XL

DE L'INFLUENCE DU PHÉNOMÈNE DES INTERFÉRENCES SUR LA VISION [1]

Ce qu'il y a de plus remarquable dans le phénomène de la scintillation, c'est le changement de couleur. Ce changement est beaucoup plus fréquent que l'observation ordinaire ne l'indique. En effet, en agitant la lunette, on transforme l'image en une ligne ou un cercle, et tous les points de cette ligne ou de ce cercle paraissent de couleurs différentes. C'est la résultante de la superposition de toutes ces images que l'on voit lorsqu'on laisse la lunette immobile. Les rayons qui se réunissent au foyer d'une lentille vibrent d'accord ou en désaccord, s'ajoutent ou se détruisent, suivant que les couches qu'ils ont traversées ont telle ou telle réfringence. L'ensemble des rayons rouges peut se détruire seul, si ceux de droite et de gauche et ceux de haut et de bas ont traversé des milieux inégalement réfringents. Nous avons dit seul, parce que la différence de réfringence qui correspond à

1. Note écrite en 1847 et insérée dans le tome III du *Cosmos* par M. de Humboldt.

la destruction du rayon rouge n'est pas la même que celle qui amène la destruction du rayon vert, et réciproquement. Maintenant si des rayons rouges sont détruits, ce qui reste sera le blanc moins le rouge, c'est-à-dire du vert. Si le vert, au contraire, est détruit par interférence, l'image sera du blanc moins le vert, c'est-à-dire du rouge. Pour expliquer pourquoi les planètes à grand diamètre ne scintillent pas ou scintillent très-peu, il faut se rappeler que le disque peut être considéré comme une agrégation d'étoiles ou de petits points qui scintillent isolément; mais les images de différentes couleurs que chacun de ces points pris isolément donnerait, empiétant les unes sur les autres, formeraient du blanc. Lorsqu'on place un diaphragme ou un bouchon percé d'un trou sur l'objectif d'une lunette, les étoiles acquièrent un disque entouré d'une série d'anneaux lumineux. Si l'on enfonce l'oculaire, le disque de l'étoile augmente de diamètre, et il se produit dans son centre un trou obscur; si on l'enfonce davantage, un point lumineux se substitue au point noir. Un nouvel enfoncement donne naissance à un centre noir, etc. Prenons la lunette lorsque le centre de l'image est noir, et visons à une étoile qui ne scintille pas : le centre restera noir comme il l'était auparavant. Si, au contraire, on dirige la lunette à une étoile qui scintille, on verra le centre de l'image lumineux et obscur par intermittence. Dans la position où le centre de l'image est occupé par un point lumineux, on verra ce point disparaître et renaître successivement. Cette disparition ou réapparition du point central est la preuve directe de l'interférence variable des rayons. Pour bien concevoir

l'absence de lumière au centre de ces images dilatées, il faut se rappeler que les rayons régulièrement réfractés par l'objectif ne se réunissent et ne peuvent par conséquent interférer qu'au foyer : par conséquent, les images dilatées que ces rayons peuvent produire resteraient toujours pleines (sans trou). Si dans une certaine position de l'oculaire un trou se présente au centre de l'image, c'est que les rayons régulièrement réfractés interfèrent avec des rayons diffractés sur les bords du diaphragme circulaire. Le phénomène n'est pas constant, parce que les rayons qui interfèrent dans un certain moment n'interfèrent pas un instant après, lorsqu'ils ont traversé des couches atmosphériques dont le pouvoir réfringent a varié. On trouve dans cette expérience la preuve manifeste du rôle que joue dans le phénomène de la scintillation l'inégale réfrangibilité des couches atmosphériques traversées par les rayons dont le faisceau est très-étroit.

Il résulte de ces considérations que l'explication des scintillations ne peut être rattachée qu'aux phénomènes des interférences lumineuses. Les rayons des étoiles, après avoir traversé une atmosphère où il existe des couches inégalement chaudes, inégalement denses, inégalement humides, vont se réunir au foyer d'une lentille pour y former des images d'intensité et de couleurs perpétuellement changeantes, c'est-à-dire des images telles que la scintillation les présente. Il y a aussi scintillation hors du foyer des lunettes. Les explications proposées par Galilée, Scaliger, Kepler, Descartes, Hooke, Huygens, Newton et John Michell, que j'ai examinées dans un Mémoire pré-

senté à l'Institut en 1840 [1], sont inadmissibles. Thomas Young, auquel nous devons les premières lois des interférences, a cru inexplicable le phénomène de la scintillation. La fausseté de l'ancienne explication par des vapeurs qui voltigent et se déplacent, est déjà prouvée par la circonstance que nous voyons la scintillation des yeux, ce qui supposerait un déplacement d'une minute. Les ondulations des bords du Soleil sont de 4″ à 5″.

XLI

SUR L'EMPLOI DES PILES DE GLACES POUR L'ÉTUDE DES LOIS DE LA POLARISATION

[Dans le sixième Mémoire sur la photométrie [2], M. Arago rappelle qu'il a fait usage des piles de glaces pour déterminer les angles qui précèdent et les angles qui suivent l'angle de la polarisation complète par réflexion pour lesquels les rayons réfléchis contiennent des proportions égales de lumière polarisée. Les expériences exécutées dans ce but n'ont pas été publiées; quelques-uns des chiffres qu'elles ont donnés ont seulement été cités dans la Notice sur la polarisation [3].

Les résultats obtenus par M. Arago sont consignés dans un registre dont le dépouillement doit trouver place ici.

Les expériences ont été faites en recevant sur un miroir horizontal soit la lumière des nuages, soit celle d'un

1. *Notices scientifiques*, t. IV, t. VII des *Œuvres*, p. 1 à 93.
2. Voir précédemment, page 271.
3. T. IV des *Notices scentifiques*, t. VII des *OEuvres*, p. 312.

quinquet; en visant sur ce miroir avec une lunette polariscope dont l'inclinaison avec l'horizon était donnée par un limbe vertical gradué; en dépolarisant enfin le faisceau réfléchi par une lame de verre ou une pile de glaces inclinées par rapport à l'axe de la lunette de manière à faire disparaître toute trace de coloration dans les deux images du polariscope.

Les expériences ont porté sur l'eau, de l'encre, le mercure, un miroir d'acier, un miroir de platine, un miroir de télescope, le verre d'antimoine, un miroir remis à M. Arago par M. de Humboldt, un horizon artificiel de Lenoir, un miroir de verre, un miroir de verre étamé, deux prismes de verre isocèles.

Les tableaux suivants présentent la réduction de toutes les observations rangées d'après l'ordre décroissant des angles de la lunette avec la surface réfléchissante.

Observations faites avec l'eau.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
74° 27′	39° 54′	nuages	29 mai et 1er juin 1814.
72 16	2 42	*Id.*	1er juin.
68 2	19 48	*Id.*	*Id.*
65 40	14 42	*Id.*	29 mai.
64 58	13 20	*Id.*	1er juin et 2 juin.
13 20	10 45	quinquet	1er juin.
11 43	12 15	nuages	*Id.*
10 48	11 30	*Id.*	29 mai et 2 juin.
9 49	16 20	*Id.*	29 mai.
9 49	16 20	quinquet	1er juin.
7 0	25 24	nuages	29 mai.
7 0	25 2	quinquet	1er juin.
3 30	39 7	nuages	1er et 2 juin.

Observations faites avec l'encre.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
72° 3′	28° 54′	nuages	25 novembre 1814.
70 14	24 15	*Id.*	*Id.*
67 38	18 22	*Id.*	*Id.*
7 19	18 38	*Id.*	*Id.*
5 47	23 45	*Id.*	*Id.*
4 52	27 0	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec le mercure.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.		Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
	verre ordinaire.	verre un peu vert.		
31° 4′	〃	33° 30′	nuages	27 décembre 1814.
29 15	33° 16′	〃	ciel très-couvert	23 décembre 1814.
26 6	29 52	〃	*Id.*	*Id.*
21 17	25	〃	*Id.*	*Id.*
18 54	〃	23 30	nuages	25 décembre 1814.
18 10	22 30	〃	ciel très-couvert	23 décembre 1814.
15 2	〃	19 46	nuages	25 décembre 1814.
12 52	〃	18 20	*Id.*	*Id.*
12 36	19 40	〃	ciel très-couvert	23 décembre 1814.
10 48	〃	19 83	nuages	25 décembre 1814.
9 57	20 10	〃	ciel très-couvert	23 décembre 1814.
7 12	23 42	〃	*Id.*	*Id.*
6 7	25 40	〃	*Id.*	*Id.*
4 49	29 24	〃	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir d'acier (la même plaque que pour le mercure le 25 décembre).

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
39° 54′	25° 0′	nuages	27 décembre 1814.
33 39	19 45	*Id.*	*Id.*
27 20	12 45	*Id.*	*Id.*

22° 25′	11° 7′	nuages	27 décembre 1814.
5 9	17 23	*Id.*	*Id.*
4 6	23 0	*Id.*	*Id.*
3 23	27 57	*Id.*	*Id.*

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
55° 56′	52° 10′	nuages	7 juin 1814.
36 0	32 45	*Id.*	*Id.*

Autre série d'observations faites avec le même miroir d'acier.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
25° 39′	28° 53′	nuages	30 décembre 1814.
24 13	31 24 *	*Id.*	*Id.*
23 10	27 7	*Id.*	*Id.*
19 43	25 57	*Id.*	*Id.*
18 24	28 22 *	*Id.*	*Id.*
17 51	26 17	*Id.*	*Id.*
16 28	26 49	*Id.*	*Id.*
15 5	28 6 *	*Id.*	*Id.*
12 54	26 34	*Id.*	*Id.*
12 22	27 22 *	*Id.*	*Id.*
10 30	27 51	*Id.*	*Id.*
8 45	30 15	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir de platine (la même plaque neutralisante que pour l'acier le 27 décembre).

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
31° 4′	20° 15′	nuages	27 décembre 1814.
22 12	14 24	*Id.*	*Id.*
18 35	14 27	*Id.*	*Id.*
14 51	13 52	*Id.*	*Id.*
9 35	13 45	*Id.*	*Id.*
7 13	19 10	*Id.*	*Id.*

* M. Arago a caché une partie du miroir avec une étoffe noire, afin de voir uniquement par le centre des plaques.

Autre série d'observations faites avec le même miroir de platine.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
61° 39′	63° 40′	nuages	6 juin 1814.
55 56	58 7	*Id.*	7 juin
49 3	53 30	*Id.*	*Id.*
44 6	48 30	*Id.*	*Id.*
41 24	47 0	*Id.*	*Id.*
36 0	42 0	*Id.*	*Id.*
29 12	36 52	*Id.*	*Id.*
24 29	32 52	*Id.*	6 juin
22 19	30 50	*Id.*	*Id.*
18 54	31 37	*Id.*	7 juin
13 30	31 52	*Id.*	*Id.*
4 39	49 0	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir de télescope.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de deux plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
69° 16′	65° 10′	nuages	5 juin 1814.
42 16	35 54	*Id.*	*Id.*
35 58	31 0	*Id.*	*Id.*
31 28	25 0	*Id.*	*Id.*
28 46	23 53	*Id.*	*Id.*
26 58	18 30	*Id.*	*Id.*
20 13	15 30	*Id.*	*Id.*
16 37	16 7	*Id.*	*Id.*
14 59	19 45	*Id.*	*Id.*

Autre série d'observations faites avec le même miroir de télescope.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
36° 54′	38° 7′	nuages	5 juin 1814.
30 9	30 52	*Id.*	*Id.*
27 0	29 24	*Id.*	*Id.*
24 18	30 10	*Id.*	*Id.*

18° 54′	23° 30′	nuages	5 juin 1814.
16 39	24 20	*Id.*	*Id.*
13 57	26 0	*Id.*	*Id.*
10 48	31 18 *	*Id.*	*Id.*
8 43	35 0	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec du verre d'antimoine.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
70° 56′	55° 30′	nuages	16 février 1815.
67 52	50 27	*Id.*	*Id.*
60 45	38 22	*Id.*	*Id.*
58 15	35 20	*Id.*	*Id.*

Autre série d'observations faites avec le même verre d'antimoine.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
72° 0′	61° 36′	nuages	3 novembre 1815.
62 22	48 0	*Id.*	*Id.*
55 51	41 0	*Id.*	*Id.*
49 30	29 36	*Id.*	*Id.*
43 50	18 3	*Id.*	*Id.*

Première série d'observations faites avec un miroir donné par M. de Humboldt.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
67° 33′	22° 24′	nuages	4 juin 1814.
9 57	13 0	*Id.*	*Id.*
7 36	21 37	*Id.*	3 juin
5 34	30 10	*Id.*	4 juin

* 7h 30m, temps couvert, lumière faible.

Deuxième série d'observations faites avec le miroir de M. de Humboldt.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
70° 12′	31° 22′	nuages	19 juin 1814.
69 18	29 12	*Id.*	*Id.*
68 24	27 12	*Id.*	*Id.*
67 30	24 37	*Id.*	*Id.*
66 36	23 12	*Id.*	*Id.*
65 42	20 19	*Id.*	*Id.*
64 48	18 45	*Id.*	*Id.*
9 54	10 22	*Id.*	*Id.*
9 0	13 52	*Id.*	*Id.*
8 6	15 30	*Id.*	*Id.*
7 12	19 37	*Id.*	*Id.*
6 18	22 45	*Id.*	*Id.*
5 24	26 37	*Id.*	*Id.*
4 30	29 12	*Id.*	*Id.*

Troisième série d'observations faites avec le miroir de M. de Humboldt.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de deux plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
68° 24′	39° 0′	nuages	5 juin 1814.
67 30	37 10 *	*Id.*	21 juin
66 36	35 0	*Id.*	*Id.*
63 54	28 36	*Id.*	5 juin
63 0	27 57	*Id.*	21 juin
62 6	26 12	*Id.*	*Id.*
60 18	19 48	*Id.*	5 juin
10 48	20 40	*Id.*	21 juin
9 54	22 58	*Id.*	*Id.*
9 0	25 28	*Id.*	*Id.*
9 0	25 18	*Id.*	5 juin

* En introduisant de l'alcool entre les deux plaques, la lunette faisant un angle de 67° 30′ avec la surface réfléchissante, M. Arago trouve pour l'angle de neutralisation 27° environ seulement.

8° 6′	30° 9′	nuages	21 juin 1814.
7 12	32 30 *	*Id.*	22 juin
7 12	32 22	*Id.*	21 juin
6 30	34 7	*Id.*	5 juin
6 18	36 57	*Id.*	21 juin
5 24	37 52	*Id.*	*Id.*
4 30	41 24	*Id.*	5 juin

Quatrième série d'observations faites avec le miroir de M. de Humboldt.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
72° 54′	52° 6′	nuages	6 juin 1814.
70 56	49 45	*Id.*	16 février 1815.
68 24	44 24	*Id.*	6 juin 1814.
68 24	43 9	*Id.*	7 juin
67 52	44 30	*Id.*	16 février 1815.
66 36	39 37	*Id.*	7 juin 1814.
66 30	41 15	*Id.*	*Id.*
65 42	38 48	*Id.*	6 juin
64 48	37 0	*Id.*	7 juin
63 54	35 0	*Id.*	6 juin
63 0	32 42	*Id.*	7 juin
61 12	29 0	*Id.*	6 juin
61 12	27 0	*Id.*	7 juin
60 45	31 48	*Id.*	16 février 1815.
58 15	26 30	*Id.*	*Id.*
14 24	22 0	*Id.*	6 juin 1814.
13 30	25 10	*Id.*	7 juin
12 36	20 54	*Id.*	*Id.*
11 42	30 0	*Id.*	*Id.*
11 42	29 30	*Id.*	6 juin
10 48	31 57	*Id.*	7 juin
9 54	34 1	*Id.*	*Id.*
9 0	37 0	*Id.*	6 juin
9 0	36 26	*Id.*	7 juin

* En introduisant de l'huile de sassafras entre les deux plaques, la lunette faisant un angle de 7° 12′ avec la surface réfléchissante, l'angle de neutralisation n'est plus que de 19° 15′.

8° 6′	39° 43′	nuages	7 juin 1814.
7 34	41 30	*Id.*	6 juin
4 52	50 20	*Id.*	7 juin

Cinquième série d'observations faites avec le miroir de M. de Humboldt.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
76° 57′	67° 36′	nuages	21 février 1815.
74 8	62 12	*Id.*	*Id.*
68 24	52 38	*Id.*	20 février
62 34	43 48	*Id.*	*Id.*
57 12	35 34	*Id.*	*Id.*

Première série d'observations faites avec un horizon artificiel de Lenoir.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
70° 1′	27° 40′	ciel très-couvert	10 septembre 1814.
68 13	23 56	*Id.*	*Id.*
66 27	20 7	*Id.*	*Id.*
64 37	16 37	*Id.*	*Id.*
62 49	12 23	*Id.*	*Id.*
11 33	11 31	quinquet	9 septembre
11 27	12 43	ciel très-couvert	10 septembre
10 40	14 12	quinquet	9 septembre
10 10	16 36	nuages	8 septembre
9 23	18 20	quinquet	9 septembre
9 16	17 31	nuages	8 septembre
9 16	16 55	ciel très-couvert	10 septembre
8 22	19 33	nuages	8 septembre
8 12	20 8	ciel très-couvert	10 septembre
7 45	24 37	quinquet	9 septembre
7 28	23 12	nuages	8 septembre
7 28	23 30	ciel très-couvert	10 septembre
6 34	28 46	nuageux	8 septembre
6 18	29 45	quinquet	9 septembre
6 11	28 30	ciel très-couvert	10 septembre
5 53	32 30	*Id.*	*Id.*

Deuxième série d'observations faites avec l'horizon artificiel de Lenoir.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de deux plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
77° 48′	60° 10′	ciel entièrement couvert	29 octobre 1814
74 42	52 37	*Id.*	*Id.*
65 42	34 48	*Id.*	*Id.*
58 30	21 15	*Id.*	*Id.*
13 35	11 36	*Id.*	*Id.*
11 24	17 30	*Id.*	*Id.*
10 18	21 40	*Id.*	*Id.*
8 45	26 3	*Id.*	*Id.*
8 35	29 0	quinquet	28 octobre
6 41	32 36	*Id.*	*Id.*
5 24	39 0	*Id.*	*Id.*
5 22	36 48	ciel entièrement couvert	29 octobre
4 31	40 42	quinquet	28 octobre
4 21	41 0	ciel entièrement couvert	29 octobre
3 39	50 42	quinquet	28 octobre
2 26	57 24	nuages	*Id.*
1 21	65 30	*Id.*	*Id.*

Troisième série d'observations faites avec l'horizon artificiel de Lenoir.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
80° 44′	70° 52′	nuages	11 février 1815.
79 35	69 30	*Id.*	*Id.*
75 27	60 50	*Id.*	*Id.*
71 6	50 18	*Id.*	*Id.*
66 17	42 16	*Id.*	*Id.*
61 39	33 22	*Id.*	*Id.*
60 45	31 55	*Id.*	*Id.*

Quatrième série d'observations faites avec l'horizon artificiel de Lenoir.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de six plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
16° 52′	34° 10′	nuages	10 novembre 1815.
15 10	38 0	*Id.*	11 octobre
14 13	38 42	*Id.*	10 novembre
13 45	41 0	*Id.*	11 octobre
11 59	43 45	*Id.*	*Id.*
11 43	44 36	*Id.*	10 novembre
9 15	47 18	*Id.*	*Id.*
5 20	54 34	*Id.*	*Id.*
3 52	59 30	*Id.*	*Id.*
2 42	63 48	*Id.*	*Id.*
2 4	67 0	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir de verre.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
80° 5′	55° 13′	nuages	28 mai 1814.
78 36	52 46	*Id.*	*Id.*
75 0	43 10	*Id.*	*Id.*
70 50	30 32	*Id.*	*Id.*
65 59	21 0	*Id.*	*Id.*
64 12	16 55	*Id.*	*Id.*
8 13	16 7	*Id.*	*Id.*
6 42	23 7	*Id.*	*Id.*
5 24	28 37	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir de verre réfléchissant par ses deux faces.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
67° 30′	25° 42′	nuages	25 juin 1814.
66 36	23 21	*Id.*	*Id.*
9 54	18 4	*Id.*	*Id.*
9 0	22 7	*Id.*	*Id.*
8 6	25 4	*Id.*	*Id.*
7 12	29 4	*Id.*	*Id.*
6 18	31 47	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir de verre réfléchissant par ses deux surfaces.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons d'une plaque neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
12° 36′	19° 34′	nuages	7 octobre 1814.
9 54	27 7	*Id.*	*Id.*
8 33	31 30	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec deux miroirs, dont l'un réfléchit par ses deux faces et l'autre par une seule.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons d'une pile neutralisante composée de quatre plaques de Richer		Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
	pour le miroir réfléchissant par ses deux faces.	pour le miroir réfléchissant par une seule face.		
75° 18′	64° 54′	64° 47′	nuages	5 nov. 1815.
72 0	57 18	56 37	*Id.*	*Id.*
69 44	52 0	51 39	*Id.*	*Id.*
67 25	48 36	48 32	*Id.*	3 novembre
56 52	31 34	30 8	*Id.*	*Id.*
53 44	25 3	22 4	*Id.*	5 novembre

Autre série d'observations faites avec un miroir réfléchissant par ses deux faces.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
76° 57′	67° 48′	nuages	21 février 1815.
74 8	62 48	*Id.*	*Id.*
68 24	53 33	*Id.*	20 février
62 34	44 7	*Id.*	*Id.*
57 12	36 34	*Id.*	*Id.*
17 34	27 12	*Id.*	21 février
13 59	36 43	*Id.*	26 février
12 43	37 20	*Id.*	27 février
10 59	44 0	*Id.*	26 février

Observations faites avec une plaque de verre étamée.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la plaque neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
48° 36′	55° 15′	nuages	22 octobre 1814.
27 0	39 50	*Id.*	*Id.*
24 18	37 18	*Id.*	*Id.*
16 12	35 0	*Id.*	*Id.*
9 54	34 53	*Id.*	7 octobre
9 54	34 42	*Id.*	16 octobre
8 33	36 48	*Id.*	7 octobre

Observations faites avec un prisme de verre isocèle réfléchissant par la seconde face (l'angle obtus = 161°, l'angle aigu, 9° 30′).

Inclinaison de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaison de la plaque de verre neutralisante.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
15° 23′	20° 6′	nuages	9 février 1815.

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
18° 50′	42° 0′	nuages	11 février 1815.
14 32	47 54	*Id.*	*Id.*
12 49	48 30	*Id.*	*Id.*
10 25	53 30	*Id.*	*Id.*
9 16	56 12	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un prisme de 141°

Inclinaisons de la lunette sur la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
21° 26′	26° 42′	nuages	12 février 1815.
19 47	28 52	*Id.*	*Id.*
18 24	31 48	*Id.*	*Id.*
16 43	34 37	*Id.*	*Id.*
15 30	44 42	*Id.*	*Id.*
13 28	47 54	*Id.*	*Id.*

Toutes les déterminations données dans les tableaux

précédents proviennent de la moyenne de 3 à 10 observations. Les angles de la pile neutralisante ne diffèrent entre eux, dans une même expérience, que de 1 à 2 degrés au plus.

Au lieu de faire varier la position de la lunette polariscope et de laisser immobile la surface réfléchissante, M. Arago a fait aussi quelques expériences dans lesquelles la lunette polariscope restant fixe, il inclinait plus ou moins le miroir qui renvoyait dans la lunette la lumière polarisée pour être neutralisée par la pile de glaces.

Ces nouvelles expériences ont donné les résultats suivants :

Observations faites avec un miroir de verre.

Angles de la lunette polariscope avec la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
14° 30′	36° 48′	nuages	28 mars 1815.
13 59	36 43	*Id.*	26 février
12 43	37 20	*Id.*	27 février
12 30	40 30	*Id.*	27 mars
12 30	40 12	*Id.*	28 mars
11 26	43 26	*Id.*	*Id.*
10 59	44 0	*Id.*	26 février
9 48	43 58	*Id.*	27 février
9 30	47 48	*Id.*	27 mars
9 17	48 48	*Id.*	28 mars
7 48	49 25	*Id.*	27 février

Observations faites avec une plaque de verre donnée par M. Biot.

Angles de la lunette polariscope avec la surface réfléchissante.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
15° 8′	33° 10′	nuages	4 mai 1815.
11 53	40 6	*Id.*	*Id.*
10 8	44 30	*Id.*	*Id.*

Les diverses expériences qui viennent d'être rapportées ne démontrent pas seulement qu'à égales distances angulaires au-dessus et au-dessous de l'angle de polarisation complète, les rayons réfléchis contiennent des proportions égales de lumière polarisée; elles ont encore servi à M. Arago à prouver que la quantité de lumière polarisée transmise par un plan diaphane est exactement égale à la quantité de lumière polarisée à angle droit qui se trouve dans le faisceau réfléchi par le même plan. En effet, dans le registre où sont contenues les observations précédentes, M. Arago a aussi consigné des expériences faites sur la lumière polarisée transmise par une lame de verre sous différentes inclinaisons; l'intensité de la polarisation était encore mesurée par une pile de glaces convenablement inclinée sur l'axe de la lunette polariscope. La lunette polariscope étant fixe, la plaque qui laissait passer la lumière transmise prenait successivement diverses inclinaisons.

Voici ces observations réduites :

Observations faites avec une lame de verre.

Angles de la lunette polariscope avec la surface diaphane.	Inclinaisons de la pile neutralisante formée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
26° 11	51° 40′	nuages	26 février 1815.
23 11	49 27	*Id.*	*Id.*
20 11	46 48	*Id.*	*Id.*
17 11	45 12	*Id.*	*Id.*
14 11	42 48	*Id.*	*Id.*
11 11	40 48	*Id.*	*Id.*

Observations faites avec un miroir de verre.

Angles de la lunette polariscope avec la surface diaphane.	Inclinaisons de la pile neutralisante formée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
24° 8′	47° 36′	nuages	27 février 1815.
20 8	44 57	*Id.*	*Id.*
16 8	42 56	*Id.*	*Id.*
13 8	40 39	*Id.*	*Id.*
10 8	38 20	*Id.*	*Id.*

Autre série d'observations faites avec un miroir de verre.

Angles de la lunette polariscope avec la surface diaphane.	Inclinaisons de la pile neutralisante formée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
15° 13′	42° 54′	nuages	27 mars 1815.
14 25	42 7	*Id.*	28 mars
12 13	41 12	*Id.*	27 mars
11 25	40 6	*Id.*	28 mars
10 33	40 36	*Id.*	*Id.*
9 13	39 42	*Id.*	27 mars
8 25	38 48	*Id.*	28 mars

Observations faites avec une plaque de verre donnée par M. Biot.

Angles de la lunette polariscope avec la surface diaphane.	Inclinaisons de la pile neutralisante formée de quatre plaques.	Nature de la lumière éclairante.	Dates des observations.
17° 54′	46° 0′	nuages	4 mai 1815.
13 54	43 6	*Id.*	*Id.*
10 48	40 41	*Id.*	*Id.*
9 54	40 24	*Id.*	*Id.*
8 33	40 39	*Id.*	*Id.*
5 29	37 48	*Id.*	*Id.*

En rapprochant ces observations de celles données plus haut pour la lumière réfléchie, on voit que pour les mêmes angles de la lunette polariscope avec une surface laissant passer ou réfléchissant la lumière, on trouve aussi les mêmes angles de neutralisation pour la pile formée du même nombre de plaques.]

XLII

RECHERCHE DE L'ANGLE SOUS LEQUEL LA LUMIÈRE EST COMPLÉTEMENT POLARISÉE PAR DIVERSES SUBSTANCES

Inclinaison de la lunette avec la surface observée.	*Eau.*
38° 30′	la disparition de la deuxième image n'est pas complète.
39 30	plus loin de la disparition que dans l'observation précédente.
35 30	on est très-près de la disparition complète de la deuxième image.
36	la disparition de la seconde image me semble complète.
37	disparition bien complète.
38 30	il me semble que la deuxième image commence à ne pas disparaître.
39 45	point de disparition.
37	disparition.

D'après ces observations, il semblerait que l'eau polarise sous une inclinaison de 37° environ.

Huile de sassafras.

37° 45′	loin de la disparition.
28 30	loin de la disparition.
32 30	disparition (sous cette inclinaison je mets l'eau à la place de l'huile, mais alors on est loin de la disparition).
34	disparition.
36 15	la deuxième image ne disparaît plus.
37 30	assez loin de la disparition.

D'après ces observations il semblerait que l'huile de sassafras polarise sous l'angle de 33° environ.

Miroir de verre.

37° 0′	loin de la disparition.
36 30	*Id.*
35	pas tout à fait.
33 15	très-près.
31 30	la deuxième image ne disparaît plus.
33	assez près.
33 30	près.
34	très-près ou disparition complète.
34 45	très-près.
35 30	commence à ne pas disparaître.
37 15	loin.
36	ne disparaît pas.
34 30	disparition.
33 30	*Id.*
38 15	pas de disparition.
34	disparition.
32 45	la deuxième image commence à ne plus disparaître.

On voit par là que la polarisation complète de la lumière doit avoir lieu sous une inclinaison peu différente de 34°.

XLIII.

ESSAI DU DIAMANT PAR LA POLARISATION

[Le Compte-rendu de la séance de l'Académie des Sciences du 2 janvier 1843 renferme la note suivante présentée par M. Élie de Beaumont :

Note sur le gisement des diamants au Brésil, par M. Lomonosoff. — « Les roches où les diamants gisent dans des massifs d'itacolumite se trouvent situées sur la rive gauche du Corrego dos Rios sur la serra du Grammagoa, qui est à 43 lieues portugaises au nord de la ville de Tijuco ou Diamantina. On y a exploité les diamants

avantageusement pendant plusieurs années en faisant sauter les roches, réduisant les fragments en sable au moyen de marteaux, et faisant subir à ce sable des lavages à l'aide de la *batea*. A cette heure les travaux ont cessé, parce que le restant des roches à gisement de diamant a commencé à offrir plus d'une difficulté à l'exploitation, et parce que ces diamants sont obtenus ailleurs avec plus de facilité. »

A cette Note sont joints divers échantillons que M. Lomonosoff soumet à l'examen de l'Académie, savoir :

1-2. Gisements de diamants sur la serra de Grammagoa, à 43 lieues de Tijuco;

3-4. Diamants dans la Canga, de Riberao das Datas, à 6 lieues de Tijuco;

5. Antonio Pereira (appartenant à la compagnie de Gongo-Socco), or dans un conglomérat ferrugineux;

6. Gongo-Socco (or dans la jacutinga), fer oligiste;

7. Santa-Anna d'Itabira de matto-grosso, (or dans la jacutinga), fer oligiste;

8. Candongo (or avec facettes cristallines dans la jacutinga friable);

9. Brucutu (jacutinga aurifère);

(5 à 9 : échantillons montrant le gisement de l'or natif de différentes localités de la province de Minas Geraes.)

10. Poudre d'or de Minas Novas (or en paillettes);

11. Or en paillettes présentant quelques facettes cristallines de la rivière Jacotintonhá (Minas Geraes, limites du district des diamants).

Après cette communication, M. Arago a fait remarquer que s'il existait quelques doutes sur la nature de ces cristaux, on pourrait, malgré leur petite dimension, et sans rien faire qui exposât à les détacher de leur gangue, constater, au moyen d'une expérience de polarisation, que ce sont bien réellement des diamants.

Le Compte rendu de la séance du 16 janvier expose en ces termes les résultats des expériences entreprises :

« L'Académie, sur la proposition de M. Arago, avait chargé une commission d'examiner optiquement si les petits minéraux enchâssés dans du grès quartzeux, que M. Lomonosoff a rapportés du Brésil, sont véritablement des diamants. La commission a rendu compte aujourd'hui de ses expériences.

« Un de ces minéraux s'étant détaché de sa gangue, on a pu, avec la permission de M. Lomonosoff, y faire pratiquer une petite facette polie et étudier ses propriétés à l'aide de la réflexion régulière. On s'est assuré ainsi qu'il ne polarise pas entièrement la lumière. (Le diamant, comme le savent les physiciens, est dans le même cas.) L'angle de polarisation maximum du petit minéral s'est trouvé exactement égal à celui qui était donné par un diamant de l'Inde, pris pour terme de comparaison. D'après ce double caractère, il n'est nullement douteux que le minéral détaché ne soit un vrai diamant.

« L'épreuve n'a pas été aussi décisive à l'égard de deux autres cristaux restés dans leur gangue. La petitesse des faces et leur poli très-imparfait ont réduit les observateurs à opérer dans ce cas sur de simples reflets. Cependant la conclusion a été la même.

« Les observations ont été faites par MM. de Humboldt, Élie de Beaumont, Babinet, Diard et Arago. »

L'Académie a décidé qu'une substance noirâtre, plus dure que le diamant, dont M. Diard a fait l'acquisition à Bornéo, serait soumise aux mêmes épreuves optiques.

Le Compte rendu de la séance du 30 janvier renferme enfin sur ce sujet la Note suivante :

« L'Académie décida dernièrement qu'on soumettrait à des épreuves optiques un minéral noir et très-dur, qui a été acheté à Bornéo par M. Diard. L'expérience n'a pas pu être tentée. Après un travail continu de vingt-quatre heures, un des plus habiles lapidaires de Paris n'a pas réussi à émousser une seule des pointes dont la surface du minéral est recouverte. M. Arago rapporte même que la roue du lapidaire a beaucoup souffert pendant ce travail.

« M. Dumas, après avoir examiné l'échantillon, pense que ce minéral est un *diamant de nature*, nom qu'on donne dans le commerce à des diamants qui ne sont susceptibles, ni de se polir, ni de se cliver, et qu'on réserve pour faire la poudre de diamants. »]

XLIV

SUR LA NOTICE DE M. PELTIER, INTITULÉE : DE LA CYANOMÉTRIE ET DE LA POLARIMÉTRIE ATMOSPHÉRIQUES [1]

M. Peltier présenta à l'Académie des sciences, le mercredi 30 juillet 1845, un Mémoire imprimé à Bruxelles, intitulé : *De la cyanométrie et de la polarimétrie atmosphérique*, ou *Notice sur les additions et les changements faits au cyano-polariscope de M. Arago pour le rendre cyano-polarimètre dans l'observation de tous les points du ciel.*

1. Note insérée dans le tome XXI des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, p. 332.

M. Arago exprima sur-le-champ la surprise qu'il éprouvait en voyant qu'on lui enlevait la satisfaction de faire connaître lui-même la composition de ses instruments de météorologie optique et la manière d'en tirer parti. M. Peltier a trouvé cette susceptibilité sans fondement : « Un instrument, a-t-il écrit à M. Arago, admis à l'Exposition des produits de l'industrie française, un instrument qui se trouve dans vingt cabinets de physique... ne ferait pas encore partie du domaine public, au même titre que l'hygromètre, l'eudiomètre, etc.! Il y a vraiment là une assertion qui m'étonne et qui confond ma judiciaire. »

En revenant aujourd'hui (4 août 1845), bien à contre-cœur, sur ce débat, M. Arago a déclaré que, n'ayant pas été une seule fois visiter les salles de l'Exposition en 1844, il ignorait complétement que l'artiste auquel la reproduction de son polarimètre et de son cyanomètre avait été confiée, eût exposé ces deux instruments aux regards du public ; que si la présence d'un appareil aux galeries des Champs-Élysées pouvait enlever à l'inventeur quelques-uns de ses droits (M. Arago serait au reste bien loin de l'accorder), la publication des parties de la brochure de M. Peltier relatives à la théorie du polarimètre, du cyanomètre, et aux précautions nécessaires dans l'emploi de ces deux instruments ne saurait en tout cas être justifiée à aucun titre.

M. Peltier n'a pu, à cet égard, recueillir d'informations que de la bouche des personnes à qui M. Arago avait parlé de ses anciennes expériences. M. Soleil lui-même a dû lui être peu utile, car M. Arago s'étant réservé de donner à cet estimable artiste une instruction écrite

pour l'usage des observateurs, n'avait pas cru devoir entrer avec lui dans des explications verbales détaillées. Aussi, qu'est-il arrivé ? M. Arago a prouvé que la brochure de M. Peltier fourmille d'erreurs de fait et d'erreurs de théorie incroyables. M. Arago s'est trouvé dans la pénible obligation de répudier verbalement, devant ses confrères, des conceptions de M. Peltier qu'on aurait pu lui attribuer. Il répugnerait à M. Arago d'aborder ici les détails, sans une absolue nécessité. Le secrétaire de l'Académie aura quelque chose de bien plus urgent à faire, ce sera de substituer au Mémoire de M. Peltier une description exacte du polarimètre et du cyanomètre ; ce sera aussi d'exposer les vrais principes d'optique sur lesquels ces deux instruments reposent[1].

XLV

POLARISATION DE L'ATMOSPHÈRE[2]

[Les registres d'observations de M. Arago renferment plusieurs séries d'expériences entreprises, soit pour déterminer le point neutre que présente l'atmosphère par rapport à la position du Soleil aux différentes heures de la journée, soit pour mesurer à l'aide du polarimètre l'intensité de la polarisation dans divers points du ciel.

1. Voir p. 270 à 281 de ce volume.

2. La découverte de la polarisation de l'atmosphère a été faite par M. Arago en 1811. — Voir à ce sujet le Mémoire sur la polarisation colorée, p. 37 et 40. — Voir aussi dans le septième Mémoire sur la photométrie le chapitre consacré à la détermination de la hauteur des nuages, p. 282 à 289. — Voir enfin, t. VII des *Œuvres* t. IV des *Notices scientifiques*, p. 394 à 397, 430 et 435.

Tous les résultats de ces expériences sont relevés ici; les notes écrites par M. Arago sont conservées; les observations sont réduites d'après les indications des registres.]

Recherche de l'angle sous lequel l'atmosphère polarise la lumière (22 novembre 1812).

Je place le zéro du nonius sur le zéro du cercle horizontal du théodolite et je dirige la lunette vers le Soleil couchant. Je détermine ensuite, soit à l'aide des deux champs de la petite lunette prismatique, soit avec les couleurs dont ces deux champs sont teints lorsqu'on interpose une plaque de cristal de roche, soit enfin en examinant un corps mince opaque et noir à l'aide d'un prisme doué de la double réfraction, le point de l'atmosphère dans lequel la lumière est le plus complétement polarisée.

Par une première expérience je trouve que ce point est éloigné du Soleil de.................................... 99°

Une deuxième épreuve me donne........................ 99

Une troisième.. 98

Une quatrième.. 104

Une cinquième.. 98

Une sixième... 93

A 118° on était assez loin du point de polarisation complète;

A 65 on est assez loin de l'autre côté;

A 74 on a, ce me semble, sensiblement dépassé le point;

A 63 on est bien loin;

A 70 le point est bien dépassé;

A 73 le point est aussi sensiblement dépassé.

En supposant que 99° soit effectivement l'angle de distance du Soleil au point de l'atmosphère où la lu-

mière est complétement polarisée, on trouvera que l'angle que forment les rayons avec la surface de chaque molécule d'air au moment de la réflexion est d'environ 50°.

Observations du 9 juin 1814.

A $6^h 30^m$, en temps moyen, la lumière n'est pas polarisée à 17° 6′; elle l'est par réfraction à 5° 24′, et par réflexion à 22° 30′.

Heures des observations.	Angles de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Remarques.
$6^h 35^m$	30° 36′	54° 0′	"
6 37	30 36	55 0	"
6 38	35 6	51 0	"
6 39	44 6	40 0	"
6 40 1/2	53 6	35 0	"
6 47	71 6	27 30	"
6 50	57 36	32 0	"

A 7^h il n'y a pas de lumière polarisée à 20° 42′; il y en a par réflexion à 26° 6′, et par réfraction à 14° 51′.

A $7^h 30^m$ neutralisation à 26° 22′; la lumière est polarisée par réflexion à 29° 42′, et par réfraction à 18° 54′.

Heures des observations.	Angles de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Remarques.
$7^h 35^m 1/2$	35° 6′	63° 0′	"
7 38	44 6	50 30	"
7 41	53 6	40 30	"
8 6 1/2	44 6	48 30	"

Observations du 11 juin 1814.

Heures des observations.	Angles de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Remarques.
2h 45m	37° 36′	27° 30′	〃
2 48	23 17	56 30	nuage blanc
2 50 1/2	19 45	37 30	〃
2 52 1/2	12 7	53 0	nuage blanc
2 56	67 0	38 0	〃
3 2	69 58	37 30	〃
3 5	75 1	41 0	〃
3 6 1/2	69 17	37 30	〃
3 8 1/2	45 0	27 0	〃
3 10 1/2	43 31	69 30	nuage blanc
3 13 1/2	43 31	27 30	〃
3 16 1/2	27 0	32 0	〃
3 18	18 12	40 0	〃
3 20	10 0	44 0	〃
3 22	31 30	33 0	〃
3 23 1/2	48 30	28 0	〃
3 28	59 54	66 0	nuage blanc
3 33	59 54	29 0	〃

Observations du 14 juin 1814

Heures des observations.	Angles de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Inclinaisons de la pile neutralisante composée de trois plaques.	Remarques.
2h 22m	69° 18′	42° 0′	〃
2 24	60 18	35 0	〃
2 27	50 24	29 30	〃
2 29	45 0	27 30	〃
2 31	22 30	31 0	〃
2 33	16 12	35 30	〃
2 34	14 51	58 0	nuage blanc
2 38	11 42	41 0	〃
2 40	26 6	71 30	nuage blanc
2 43	36 54	29 0	〃
2 44	72 0	41 0	〃

2h 48m	63° 0′	35° 30′	»
2 49	54 0	32 0	»
2 51	45 54	67 0	nuage blanc
2 53	62 6	75 0	nuage
2 55	37 48	67 30	*Id.*
2 57	66 58	73 30	*Id.*
2 58	12 36	66 30	nuage blanc

Observations du 18 *avril* 1815.

J'ai recherché le point de l'atmosphère où la polarisation est nulle dans l'azimut opposé au Soleil.

A 5h 56m je trouve que la lunette est trop bas à 12° 36′, trop haut à 21° 36′; le point neutre est à 17° 49′.

A 6h, 23° 24′ est trop haut; la neutralisation est à 18° 54′.

A 6h 3m, 14° 51′ est trop bas; le point neutre est à 19° 48′.

A 6h 12m, 14° 24′ est trop bas, 25° 44′ est trop haut; le point est à 22° 19′.

A 6h 16m, 16° 12′ est trop bas, 25° 12′ est trop haut; le point est à 20° 42′.

A 6h 30m le point de neutralisation est à 23° 13′.

A 6h 40m à 25° 12′.

A 6h 45m à 24° 40′.

A 6h 58m, 15° 45′ est trop bas, 29° 15′ est trop haut; la neutralisation est à 22° 3′. — La lumière était très-faible pendant cette dernière observation.

A 6h 27m, la lunette étant à 1° 48′, quatre plaques sous l'angle de 67° neutralisaient complétement les couleurs.

A 6h 50m la lunette étant à 4° 3′, quatre plaques à 67° neutralisaient complétement les teintes.

Observations du 11 *mai* 1815.

Heures des observations.	Angles de la lunette polariscope avec l'horizon.	Inclinaisons de la pile composée de quatre plaques.	Remarques.
3h 36m	47° 42′	28° 30′	ciel très-pur
3 39	21 36	43 0	»
3 42	54 54	39 0	nuage blanc

3h 45m	54° 54′	35° 0′	le nuage est plus transparent
3 46 1/2	54 54	45 0	nouveau nuage blanc
3 50	54 54	40 0	vapeurs blanches
3 50 1/2	54 54	46 0	vapeurs plus épaisses

Le maximum de lumière polarisée à 3h 36m devait être à très-peu près à 47° 42′.

L'atmosphère était très-pure en commençant; des vapeurs blanchâtres ont été ensuite amenées par le vent.

Observations du 27 *mai* 1815.

Heures des observations.	Angles de la lunette polariscope avec l'horizon.	Inclinaisons de la pile composée de quatre plaques.	Remarques.
1h 38m	55° 10′	36° 30′	neutre
1 41	49 11	32 0	*Id.*
1 44	13 21	36 0	*Id.*
1 46	22 15	32 30	*Id.*
1 48	25 49	29 30	*Id.*
1 51 1/2	48 40	32 0	*Id.*
1 56	41 19	28 0	*Id.*
1 58 1/2	27 23	30 0	*Id.*
2 2	43 2	28 0	*Id.*
2 5 1/2	29 26	} 30 0	*Id.*
2 8	48 3		
2 11	62 49	} 37 30	*Id.*
2 12 1/2	13 48		
2 18	65 53	} 40 0	*Id.*
2 20	10 16		
2 23	19 50	} 35 30	*Id.*
2 25	60 58		
2 32	59 13	} 35 0	*Id.*
2 35	23 9		
2 38	9 11	42 0	*Id.*
2 40	6 21	45 0	*Id.*
2 41 1/2	3 18	47 30	*Id.*
2 44	0 54	49 0	*Id.*
4 28	29 4	42 0	*Id.*

Observations du 25 août.

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
1h 17m	30° 0′		couleurs transmises à toutes hauteurs
1 18	33		*Id.*
1 20	36	45° 22′	neutre
1 21		30 36	couleurs transmises
1 22		36 16	neutre
1 23		55 19	couleurs transmises
1 22		48 9	neutre
1 23		35 17	couleurs transmises
1 26		39 20	neutre
1 27		56 53	couleurs transmises
1 35	40	26 6	couleurs transmises
1 37		63 32	couleurs transmises
1 43	45	17 38	couleurs transmises
1 44		71 11	couleurs transmises
1 49	47	73 43	neutre
1 50		13 41	neutre
1 53	46	16 39	neutre
1 54		73 10	neutre
2 7	45	20 20	neutre
2 5		74 6	neutre
2 13	40	67 21	neutre
2 16		30 1	neutre
2 19	38	36 17	neutre
2 22		66 19	neutre
2 28	37	39 31	neutre
2 32		59 54	neutre
4h 11m	49° 30′	30° 12′	neutre
4 16	45	38 2	neutre
4 18	55	21 13	neutre
4 21	60	17 35	neutre
4 23	70	6 36	neutre

A partir d'ici les plaques interposées étaient perpendiculaires aux rayons incidents.

A 4h 29m le point naturellement neutre doit être à peu près à l'horizon. Cependant, après une nouvelle vérification, je crois qu'il est en dessous.

Heures des observations.	Inclinaisons de la lunette polariscope dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
5h 9m	6° 1'	neutre
6 20	16 45	neutre
6 22	9 0	couleurs par réfraction évidentes
6 27	19 5	neutre
6 29	27 4	couleurs réfléchies
6 30	13 41	couleurs transmises
6 34	20 46	neutre
6 38	22 46	neutre
6 40	16 17	couleurs transmises
6 41	28 8	couleurs réfléchies
6 45	25 0	neutre
6 50	25 17	neutre
6 52	29 42	couleurs réfléchies
6 55	24 29	neutre
6 56	19 32	couleurs transmises
7 0	24 23	neutre

Le ciel était parfaitement pur, ou, pour mieux dire, entièrement exempt de nuages pendant cette série d'observations ; je dis exempt de nuages, car sa teinte ne me semblait pas d'un bleu aussi foncé qu'on le voit quelquefois.

Observations du 27 *août.*

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon.	Remarques.
11h 49m	56°	71° 28'	neutre (vers le nord)
11 56	67	2 15	neutre (dans l'azimut diamétralement opposé vers le sud)

Toutes les observations qui suivent ont été faites vers le nord.

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon.	Remarques.
12h 30m	30°	"	couleurs transmises très-vives à toutes les hauteurs
12 31	32	"	Id.
12 32	35	"	Id.
12 35	37	"	Id.
12 37	39	"	couleurs transmises bien visibles à toute hauteur
12 39	41	"	les couleurs transmises se voient encore à toute hauteur
12 44	42	"	les couleurs transmises se voient encore un peu à toute hauteur
12 49	43		Id.
12 52	45	"	Id.
12 59	47	49° 0'	neutre
1 5	46	41 40	Id.
1 8	47	41 35	Id.
1 12	55	70 15	Id.
1 14	55	10 59	Id.
1 20	53	15 57	Id.
1 22	53	67 53	Id.
2 32	66	14 11	neutre sur un nuage
2 35	58	14 32	neutre sur le ciel un peu blanchâtre
2 45	65	34 55	neutre sur un nuage
2 48	49	34 55	neutre sur le ciel un peu blanchâtre

J'ai employé les six mêmes plaques que le 25 août. Le ciel n'était pas parfaitement pur pendant cette série.

Observations du 29 *août* 1815.

A midi 3^m la lunette faisant avec l'horizon un angle de 5° 12′, je trouve la polarisation insensible sur un nuage; le Soleil ne frappe pas directement la surface inférieure de ce nuage; à midi 7^m, même résultat.

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
12^h 16^m	48° 0′	47° 21′	neutre
12 17	48 12	51 24	neutre
12 20	80 30	49 25	neutre sur un nuage
12 22	80 48	44 52	neutre sur un nuage
12 27	46 30	50 57	neutre
12 30	81 0	45 56	neutre sur un nuage
12 33	52 0	19 55	neutre
12 35	77 30	22 25	neutre sur un nuage
12 37	77 30	13 3	neutre sur un nuage
12 40	77 30	28 33	neutre sur un nuage
12 42	48 18	43 1	neutre
12 45	79 0	38 12	neutre sur un nuage
12 49	46 0	50 4	neutre

Les plaques étant inclinées à 40°, on voit des couleurs transmises à toute hauteur.

Pendant cette série le ciel paraissait singulièrement bleu et pur dans les espaces où l'on a dirigé la lunette pour quelques-unes de ces observations; mais ne serait-ce pas en très-grande partie par l'effet du contraste de la lumière atmosphérique avec la lumière très-brillante des nuages; car le minimum d'inclinaison sous lequel les plaques ont été placées était de 46° 30′, tandis que le 25, nous avions trouvé 36°.

Observations du 30 *août* 1815.

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
11h 31m	40° 0′	″	couleurs transmises à toute hauteur.
11 36	43 0	47° 34′	neutre
11 38	50 0	67 17	neutre
11 41	50 0	15 4	neutre
11 43	80 0	53 45	neutre sur un nuage
11 45	80 0	71 44	neutre sur un nuage
11 47	85 30	71 44	neutre sur un nuage très-lumineux
11 50	85 30	71 44	neutre sur un nuage très-blanc
11 52	70 0	19 26	neutre sur un nuage très-blanc
12 25	43 0	45 13	neutre
12 26	46 0	56 47	neutre
12 30	46 0	25 35	neutre

Observations du 1er *septembre* 1815.

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
12h 10m	48° 12′	65° 34′	neutre
12 12	48 12	13 3	neutre
12 15	40 30	37 10	neutre
12 17	36 0	″	couleurs transmises à toute hauteur
12 20	41 0	47 47	neutre

J'ai ensuite recherché le point neutre en plaçant la pile formée de six plaques dans la position perpendiculaire au rayon incident.

Heures des observations.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
6h 36m	18° 0′	couleurs transmises sensibles
6 37	27 0	point de couleurs
6 38	31 15	couleurs réfléchies sensibles
6 39 1/2	25 7	neutre
6 40 1/3	18 59	couleurs transmises
6 42	25 4	neutre
6 42 2/9	29 53	couleurs réfléchies
6 45	30 36	couleurs réfléchies
6 46 1/3	24 42	neutre
6 47	19 55	couleurs transmises

Beau ciel pendant cette série.

Observations du 20 *septembre* 1815.

Heures des observations.	Inclinaisons d'une pile composée de six plaques avec le rayon incident.	Inclinaisons de la lunette polariscope avec l'horizon dans l'azimut diamétralement opposé au Soleil.	Remarques.
11h 38m	37°	59° 10′	couleurs transmises
11 40 1/3	37°	38 23	couleurs transmises
11 42 1/2	37°	50 29	neutralisation
11 44 1/2	40	65 58	couleurs transmises
11 47 1/2	40	35 2	couleurs transmises
11 49 1/2	35	〃	couleurs transmises à toutes les hauteurs
12 7 1/2	40	61 23	couleurs transmises
12 9 1/2	40	30 23	couleurs transmises

Beau ciel.

Les observations suivantes sont relatives à la polarisation de l'atmosphère éclairée par la lumière de la Lune.

14 *octobre* 1842, *vers* 8h *du soir.* — On voyait très-bien

les bandes parallèles que produit le polariscope de Savart. On voyait les bandes mais non les couleurs. Le ciel était parfaitement serein.

La Lune avait été dans son premier quartier le 11 à $6^h 50^m$ du matin. Elle sera pleine le 19 à $11^h 22^m$ du matin.

17 *octobre*, 8^h *et demie*. — Le ciel est très-serein. La lumière de la Lune efface entièrement celle de η de la Petite Ourse (de cinquième grandeur). On voit, mais assez difficilement ζ de la même constellation (de quatrième). Les seules étoiles de la petite Ourse qu'on voie facilement sont α, β, γ.

MM. Eugène Bouvard et Laugier ont vu, à $8^h 25^m$, des bandes dans l'atmosphère avec le polariscope de Savart, à 20° au-dessous de la Lune et dans le plan vertical de cet astre.

XLVI

SUR UN PHÉNOMÈNE ATMOSPHÉRIQUE OBSERVÉ PAR MM. ARAGO ET LAUGIER [1]

Le dimanche 23 juin 1844, vers $8^h 30^m$ du soir, le ciel étant presque entièrement couvert, on vit se dessiner, du côté du sud, sur une couche presque uniforme de nuages, un arc en apparence circulaire, sombre, régulier et très-étendu, qui cependant ne se continuait ni vers l'orient, ni vers l'occident jusqu'à l'horizon. Cet arc devint de plus en plus noir et de plus en plus défini. Un arc blanchâtre se forma bientôt le long de la bordure

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XVIII, p. 1168.

intérieure de l'arc sombre, mais non dans toute son étendue.

Au-dessus et au-dessous de ce phénomène, les nuages semblaient éprouver une agitation singulière.

Les deux arcs, noir et blanc, toujours contigus, s'élevèrent graduellement au-dessus de l'horizon. Vers 9 heures, ils atteignaient le zénith après s'être notablement affaiblis. Ensuite ils disparurent.

Le point culminant de l'arc parut être dans un plan vertical, formant avec le méridien, vers l'est, un angle d'environ 20 degrés. Dès que cette orientation eut donné au phénomène un caractère magnétique, M. Laugier observa de minute en minute la boussole des variations diurnes : elle n'éprouva aucune perturbation.

On aperçut sur divers points de l'arc des traces de polarisation qui, évidemment, ne provenaient pas de la lumière de la Lune. Il reste à rechercher si la lumière crépusculaire n'en était pas la cause.

En terminant cette communication, M. Arago a rappelé les observations faites dans le nord, et pendant lesquelles des nuages prenaient la forme et la position des aurores boréales.

[Le phénomène atmosphérique décrit dans les lignes précédentes ayant donné lieu à l'envoi à l'Académie d'une Note de M. Fournet, professeur de la Faculté des sciences de Lyon, M. Arago a fait suivre son insertion dans le tome XIX des Comptes rendus des remarques suivantes :]

En communiquant à l'Académie la Note intéressante de M. Fournet, M. Arago a cru devoir combattre une

des conséquences que le physicien de Lyon a tirées de ses observations. On lit dans la Note : « Les arcs noirs vus à Paris étaient les portions de la voûte céleste intermédiaires entre les colonnes blanches nuageuses. » A cela il conviendra de substituer : « Les arcs noirs vus à Paris n'étaient certainement pas les portions de la voûte céleste intermédiaires entre les colonnes blanches nuageuses. » Comment dans un observatoire, avec tous les secours qu'on y trouve; comment, aidés de la lumière crépusculaire et de celle de la Lune; comment après avoir étudié le phénomène avec le secours de lunettes et de plusieurs instruments de polarisation, deux astronomes se seraient-ils mépris à ce point de confondre des éclaircies avec des nuages? La supposition n'est pas soutenable; on pourrait même la qualifier de risible.

Les arcs de Condrieu et ceux de Paris n'avaient rien de commun. Le phénomène des bandes polaires se montre fréquemment. Celui de Paris est très-rare, si même, tout considéré, il serait possible d'en citer un second exemple.

XLVII

POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES HALOS

J'ai observé le 2 mai 1820, à différentes heures de la journée, le ciel étant couvert çà et là de légers nuages, des halos plus ou moins vifs autour du Soleil; quoique je ne les aie pas mesurés, je pense ne pas me tromper en affirmant qu'ils appartenaient aux halos ordinaires de 22° d'amplitude.

En me servant de ma petite lunette à lunules colorées, j'ai cherché à reconnaître quel genre de polarisation présente la lumière qui vient à l'œil des différentes parties du halo. Mon attention s'est particulièrement portée sur les points le plus haut et le plus bas. La polarisation m'a paru très-faible, mais sensible. Cette polarisation était par réfraction. J'ai reconnu ce fait important en comparant les teintes qu'offraient les deux croissants, quand la lunette était dirigée vers les points le plus haut et le plus bas du halo, à celles qu'on apercevait lorsque la lumière qui pénétrait dans le tube avait été préalablement réfléchie et conséquemment polarisée sur un plan de verre horizontal : les couleurs de chaque croissant dans le premier cas étaient complémentaires de celles qu'on voyait dans le second.

Mercredi, 1er *novembre* 1822. — A 11^h 24^m du soir, temps vrai, il y avait autour de la Lune un halo qui paraissait très-elliptique; le diamètre vertical semblait beaucoup plus grand que le diamètre horizontal. Pour décider si cette différence des deux diamètres est une illusion, on pourra faire usage des remarques que voici :

La Chèvre est en dedans de la limite intérieure du halo d'environ 2°;

α d'Orion est à fort peu près sur cette limite, ou peut-être un peu trop loin du centre de 4 ou 5′;

Le rayon mené à la Chèvre fait avec le diamètre horizontal un angle d'environ 35°; la ligne menée à α d'Orion, un angle d'environ 10° avec le diamètre vertical.

[Le procès-verbal de la séance du 11 avril 1825

de l'Académie des sciences s'exprime en ces termes :]

« M. Arago annonce qu'en examinant avec un instrument de son invention un halo qui entourait le Soleil vers les onze heures du matin, il a reconnu, dans la lumière dont ce halo était formé, des traces non équivoques de polarisation par réfraction. Cette expérience exclut toute explication du phénomène qui serait fondée sur l'hypothèse d'une réflexion. M. Arago pense que l'instrument dont il s'est servi dans cette circonstance pourra, plus généralement, lui apprendre quand un nuage sera gelé et qu'il fournira dès lors le moyen d'étudier la loi du décroissement de la chaleur dans l'atmosphère. »

XLVIII

OBSERVATIONS SUR LA LUMIÈRE DE LA LUNE

[Les chapitres II et III du septième Mémoire sur la photométrie (p. 289 à 295) sont consacrés à l'étude de la lumière de la Lune. M. Arago s'est occupé de ce même sujet dans le tome III de l'*Astronomie populaire*, p. 461 à 467, et 475 à 485. Toutes les observations éparses dans les registres de M. Arago, et dont quelques-unes ont été déjà citées dans ces divers endroits des Œuvres, sont réunies ici avec quelques passages placés dans différentes publications.]

30 *octobre* 1811, *à* 8^h *et demie, temps vrai.* — J'ai examiné la Lune, qui sera pleine demain, avec la petite lunette prismatique. Les deux images m'ont semblé être de la même intensité dans toutes les positions de l'instru-

ment. J'ai placé ensuite la plaque de cristal de roche devant l'objectif, mais sans que les images aient rien perdu de leur blancheur primitive. (En regardant ces jours derniers la Lune avant qu'elle eût atteint son premier quartier, on apercevait une légère différence entre les intensités des deux images, et des couleurs très-sensibles quand on interposait la plaque de cristal de roche.)

J'ai dirigé la lunette à l'image réfléchie par un miroir métallique, et j'ai changé l'inclinaison jusqu'au moment où les deux disques étaient presque de la même intensité. La différence était si légère qu'il fallait beaucoup d'attention pour l'apercevoir; cependant à peine, les circonstances restant les mêmes, la plaque de cristal de roche était-elle placée devant l'objectif, qu'on voyait chaque image se teindre de couleurs fort sensibles et complémentaires. Ces couleurs changeaient d'une manière régulière pendant une révolution complète de l'instrument.

En comparant l'observation précédente à celles que je pourrai faire par la suite, il sera bon de remarquer que la Lune n'est pas très-loin de l'opposition et que sa latitude n'est pas très-grande, en sorte que les rayons réfléchis vers la Terre par les facettes de la Lune doivent former avec leur surface des angles approchant de 90°.

4 novembre 1811. — Aujourd'hui, à 9^h, temps vrai, j'ai dirigé la petite lunette prismatique sur la Lune. Les deux images ne semblaient pas entièrement de la même intensité, mais la différence était très-légère. En plaçant la plaque de cristal de roche devant l'objectif, les deux images se sont teintes de couleurs complémentaires assez

sensibles et qui changeaient pendant une révolution de la lunette : les taches de la Lune qu'on appelle des *mers* semblaient plus fortement colorées que le reste du disque.

11 *novembre* 1811, *à* 9^h, *temps vrai* (dernier quartier le 8, à 1^h 25^m du matin). — Les deux images de la Lune, dans la petite lunette prismatique, ne semblent pas être entièrement de la même intensité, mais la différence est très-légère. J'ai placé la plaque de cristal de roche devant l'objectif, et aussitôt les deux images se sont teintes de couleurs fort sensibles et complémentaires. Les taches qu'on nomme des *mers* sont plus fortement colorées que le reste du disque.

20 *novembre* 1811, *à* 7 *heures.* — Les deux images de la Lune ne sont pas exactement de la même intensité; il semble même que la différence, qui est extrêmement petite, se manifeste par une très-légère coloration en rouge de la plus faible image.

Avec la plaque de cristal, les deux images sont sensiblement colorées; l'une en rouge et l'autre en vert. Ces deux teintes, les seules qu'on aperçoive, ne sont bien sensibles que sur les taches obscures de la Lune.

7 *heures et demie.* — En examinant la Lune avec une lunette de nuit non achromatique, j'ai vu la lumière cendrée colorée en vert sale, très-sensiblement. Avec une lunette grossissant également très-peu, mais achromatique, la couleur verdâtre était encore apparente. La couleur cendrée, dans le premier cas, ne changeait pas de teinte, quelle que fût celle du bord de la Lune, qu'on rendait rouge ou violette, selon la position de l'oculaire. Quant au bord de la Lune éclairé par la lumière cen-

drée sa lumière était trop faible pour qu'on pût l'apercevoir coloré.

MM. Bouvard et Mathieu ont vu toutes ces particularités avec moi.

21 *novembre*, 7h, *temps vrai environ*. — En observant la Lune avec la lunette prismatique, on voyait une différence d'intensité assez sensible entre les deux images. Lorsqu'on plaçait la plaque de cristal de roche devant l'objectif, chaque image acquérait une couleur très-apparente. On ne voyait cependant très-bien que les teintes rouge et verdâtre : ces couleurs se distinguaient surtout dans les parties obscures de la Lune. En tout, les couleurs étaient beaucoup plus sensibles qu'hier.

7h *un quart*. — On voyait aujourd'hui, comme hier, la lumière cendrée verdâtre, avec la lunette de nuit non achromatique. Comme la lumière cendrée a déjà diminué, la couleur est moins vive que la veille.

En enfonçant ou retirant l'oculaire, le bord de la Lune passe successivement par diverses nuances prismatiques; mais, dans aucune de ces positions, on n'aperçoit de couleurs sur le bord cendré de la Lune.

22 *novembre*, 6h, *temps vrai*. — Avec la lunette sans plaque, les deux images de la Lune sont inégales, mais la différence est très-légère. Avec la plaque, les deux images sont teintes de couleurs assez vives et complémentaires. Le rouge et le vert sont particulièrement sensibles sur les taches obscures.

23 *novembre*. — J'ai dirigé plusieurs fois, dans la soirée, la lunette prismatique vers la Lune, et j'ai constamment vu qu'il y avait une légère différence entre la

force de la lumière des deux images. En interposant la plaque de cristal de roche, chaque image se colorait surtout dans les parties qu'on nomme des mers. Le rouge et le vert étaient les seules teintes bien sensibles.

24 novembre. — La différence d'intensité entre les deux images n'est pas très-grande aujourd'hui; la plaque de cristal de roche colore cependant très-sensiblement. Il me semble que le rouge est moins vif qu'hier et avant-hier, tandis que le vert est plus foncé. J'ai aperçu aussi, pour la première fois, bien distinctement quelques traces des couleurs intermédiaires entre le rouge et le vert.

27 novembre. — Avec la lunette prismatique, les deux images ne différaient pas sensiblement d'intensité. Avec la plaque de cristal, on n'apercevait pas de couleurs; peut-être cependant les parties noires étaient-elles, dans quelques positions, teintes de vert légèrement jaunâtre. Quant au rouge, on n'en voyait pas la moindre trace.

J'ai fait ces épreuves à différentes heures de la soirée avec les mêmes résultats. La Lune sera pleine le 30.

Mercredi 29 *mars* 1820. *Éclipse de Lune.* — Je me suis attaché aujourd'hui, en examinant la partie éclipsée de la Lune, à rechercher si la faible lumière qui rendait cette partie visible était également répartie sur tout le segment. Or, il ne m'a pas été possible de remarquer aucune différence entre l'intensité du bord éclipsé et celle des autres portions du disque également plongées dans l'ombre de la Terre.

Si la lumière qui rend visible la partie éclipsée se compose, comme on l'admet généralement, des rayons réfractés dans les couches inférieures de notre atmosphère,

ne devrait-elle pas être sensiblement colorée en rouge ? Je n'ai cependant rien vu de pareil, quoique j'y aie donné beaucoup d'attention et que je me sois servi de plusieurs lunettes parfaitement achromatiques. Ajoutons que la partie blanche et entièrement éclairée de la Lune était là comme terme de comparaison et aurait fait ressortir par son contraste la plus légère coloration du segment voisin.

Quelque temps après le lever de la Lune, sa partie éclipsée était très-visible avec la lunette de nuit, tandis qu'on n'en apercevait pas la plus légère trace avec la lunette de Dollond.

On cite des éclipses de Lune pendant lesquelles cet astre a totalement disparu : n'est-il pas possible, d'après ce que je viens de rapporter, que cet effet ait tenu à la force du grossissement, et ne pourrait-on pas supposer que la Lune aurait été encore très-visible si l'observateur avait employé un très-faible grossissement?

La lumière de la partie éclipsée n'avait point la teinte verdâtre qu'on trouve quelquefois à la lumière cendrée.

27 *décembre* 1833. *Éclipse totale de Lune.* — La partie de la Lune totalement éclipsée était d'une teinte rouge très-foncée. Au moment de l'immersion totale, la lumière était certainement plus faible que dans quelques éclipses dont les annales de l'astronomie ont conservé le souvenir; mais je ne crois pas que jamais cette lumière secondaire se soit montrée avec une coloration en rouge aussi prononcée.

[On lit dans le Compte rendu de la séance de l'Académie des sciences du 17 juin 1844 :]

« M. Arago a rendu compte verbalement des remarques qu'on a eu occasion de faire à l'Observatoire pendant la dernière éclipse totale de Lune. (Celle du 31 mai 1844.) Il a particulièrement insisté sur les traces manifestes de polarisation qu'on apercevait en analysant, à l'aide d'un polariscope, la lumière rougeâtre qui était répandue sur le disque lunaire au moment même de la conjonction. M. Arago reparlera plus en détail de cet étrange phénomène; tous ses collaborateurs de l'Observatoire ont bien voulu, à sa prière, en constater l'existence. »

[Dans le Compte rendu de la séance du 9 décembre de la même année on trouve la mention suivante :]

« Il est donné lecture d'une lettre de M. Zantedeschi à M. Arago ; nous en extrairons ce passage :

« Pendant l'éclipse totale de Lune du 31 mai 1844, vous découvrîtes des traces manifestes de polarisation en analysant, à l'aide d'un polariscope, la lumière rougeâtre et diffuse qui, au moment même de la conjonction, éclairait la totalité du disque de l'astre. Pendant l'éclipse lunaire du 24 novembre 1844, j'ai confirmé pleinement le phénomène de polarisation que vous avez découvert. »

[Dans le tome III du *Cosmos*, p. 707, M. de Humboldt donne le passage suivant comme extrait de manuscrits remis par M. Arago en 1847 :]

« La lumière de la Lune est jaune, tandis que celle de Vénus est blanche. Pendant le jour la Lune paraît blanche, parce qu'à la lumière du disque lunaire se mêle la lumière bleue de cette partie de l'atmosphère que la lumière jaune de la Lune traverse. »

XLIX

REMARQUES SUR LA LUMIÈRE CENDRÉE

[Le procès-verbal de la séance de l'Académie des sciences du 5 août 1833 contient le passage suivant :]

M. Arago signale la comparaison de l'intensité lumineuse de la portion de la Lune, que les rayons solaires éclairent directement, avec celle de la partie du même astre qui reçoit seulement les rayons réfléchis par la Terre. Il croit, d'après les expériences qu'il a déjà tentées à cet égard, qu'on pourra avec des instruments perfectionnés, saisir dans la lumière cendrée les différences de l'éclat plus ou moins nuageux de l'atmosphère de notre globe. Il n'est donc pas impossible, malgré tout ce qu'un pareil résultat exciterait de surprise au premier coup d'œil, qu'un jour les météorologistes aillent puiser dans l'aspect de la Lune des notions précieuses sur l'état moyen de diaphanéité de l'atmosphère terrestre, dans les hémisphères qui successivement concourent à la production de la lumière cendrée.

[Dans ses notes manuscrites M. Arago a soin de rappeler les remarques déjà faites par Lambert; il a traduit des *Éphémérides de Berlin* les deux notes suivantes :]

« La lumière de la Lune est vraisemblablement un mélange de la lumière colorée des objets qui se trouvent à la surface de cet astre. Si nous admettons que cette lumière des divers objets soit sujette à des changements périodi-

ques, nous nous expliquerons facilement les différentes apparences des taches lunaires. Pour plus de clarté supposons qu'un Sélénite (habitant de la Lune) regarde la Terre, et faisons abstraction des nuages qui couvrent la surface de notre planète. Si, au mois de juin, il observe l'hémisphère boréal de la Terre, cette vue sera infiniment différente de celle dont il jouirait au mois de décembre. En effet, à la première de ces deux époques toutes les forêts et tous les champs de la partie boréale de la Terre sont déjà d'une couleur verte, tandis qu'au mois de décembre, étant couverte de neiges et de glaces, elle se montrera d'une couleur grise et noire. Si l'on a encore égard aux nuages, les Sélénites seront tentés de concevoir la même opinion que plusieurs de nos astronomes ont émise par suite de l'aspect changeant des taches observées à la surface de quelques planètes, à savoir qu'il s'opère de grands changements dans leur constitution physique. » (*Éphémérides de Berlin* pour 1776, p. 148.)

« Il importe beaucoup de noter si, pour les lieux où la Lune se lève et se couche éclipsée, le ciel est couvert de nuages ou serein. Dans le premier cas, ce ne sont que les rayons solaires passant au-dessus des nuages qui atteignent la Lune ; dans le second, ce sont les rayons qui rasent la surface de la Terre avant d'arriver à la Lune. Les observations des éclipses de 1772 et 1773 semblent favoriser cette idée. En effet, lors de l'éclipse de 1772, le Soleil se coucha tout rouge. Ces rayons rouges pénétraient jusque sur la surface du disque lunaire et lui donnaient une couleur de cuivre telle qu'elle paraissait changée en sang. Pendant l'éclipse du 30 septembre 1773 la portion éclipsée

ne paraissait d'aucune couleur. Le ciel était couvert et nébuleux, de sorte que, selon toute apparence, les nuages ont intercepté les rayons du Soleil qui passaient tout près de la surface de notre planète. On observe quelquefois un filet nuageux et diffus autour de l'ombre de la Terre projetée sur la Lune, de sorte qu'il paraît de largeurs différentes et comme bossué. Cela provient peut-être de ce qu'il n'y a pas, dans tous les lieux de la Terre, des nuages qui puissent intercepter les rayons du Soleil pénétrant dans notre atmosphère. Mais il faut attendre que des observations ultérieures éclaircissent une chose aussi délicate. » (*Éphémérides de Berlin* pour 1777, p. 110.)

L

NOTES SUR LA RÉFRACTION DE L'EAU AUX TEMPÉRATURES VOISINES DU MAXIMUM DE DENSITE

[Les registres d'observations de M. Arago contiennent les notes suivantes citées dans le Mémoire présenté à l'Académie des sciences, le 5 août 1850 [1].]

Le prisme que j'emploie est achromatique. L'angle réfringent du prisme d'eau est en bas, de sorte qu'une augmentation dans la densité de l'eau doit faire baisser l'image. Il faut cependant remarquer que le prisme étant adapté à une lunette qui renverse les objets, les mouvements réels sont les contraires des mouvements apparents. Pour éviter toute ambiguïté dans les écritures, les mouvements indiqués de l'image seront les mouvements

1. Voir page 302.

apparents ou ceux qu'on aperçoit immédiatement en visant par la lunette.

Observations du 24 janvier 1811.

Le thermomètre placé à l'intérieur du prisme marque 3°.1 depuis longtemps. L'image est en dessous du fil (apparence).

On ouvre les fenêtres de la Tour, et une demi-heure après le thermomètre marque 1°.9. L'image dépasse un peu le fil en dessus. Il est midi et demi.

On ferme les fenêtres, et à 1^h, le thermomètre étant à 3°.8, la mire est très-sensiblement en dessous du fil horizontal.

A 5°.0 la mire commence à se détacher du fil horizontal en dessous par un filet blanc très-mince.

A 4°.1 (depuis longtemps), la mire est un tant soit peu en dessus.

J'ouvre les fenêtres; les rayons du Soleil atteignent la face antérieure du prisme. Le thermomètre marque 5°.6. La mire est presque entièrement en dessous.

Observations du 25 *janvier* 1812 (au matin).

La température est depuis longtemps stationnaire et le thermomètre du prisme marque 1°. La mire est entièrement en dessus du fil (apparence).

J'ouvre les fenêtres. Le thermomètre monte à 2°.5. La mire semble avoir baissé.

J'échauffe le prisme avec la main sur la surface extérieure : la température intérieure devient 3°.0. La mire a baissé sensiblement.

Le Soleil se couvre; la température de l'eau a baissé jusqu'à 0°.8. La mire a monté.

Même jour (à 4^h après midi).

Le thermomètre du prisme est depuis longtemps à 5°.8. On place la mire sous le fil.

On ouvre la fenêtre : le thermomètre marque 5°.0. La mire a un peu monté.

Le thermomètre marquant 4°.6, le fil touche presque le bord inférieur de la mire.

A 3°.8 on ne voit pas encore le jour entre le fil et la mire.

Observations du 29 *janvier* 1812.

Le thermomètre à l'air marque 2°.3, celui du prisme 6°. La mire est sous le fil exactement.

A l'air 2°.0, dans le prisme 5°.0. La mire a très-sensiblement monté.

A l'air 2°.0, dans le prisme 4°.0. Les mires semblent avoir encore monté.

A l'air 1°.5, dans le prisme 3°.0. La mire est entièrement en dessus du fil.

On remet la mire sous le fil, afin de mieux apercevoir sa marche.

Température de l'air 2°.0, température du prisme 1°.5. Dans le passage de la précédente température à celle-ci la mire n'a presque pas monté, mais cependant je crois qu'ici elle a monté un peu ; toujours est-il bien certain qu'elle n'a pas baissé le moins du monde.

On ferme les fenêtres : la température du prisme s'élève jusqu'à 6°.0, celle de l'air à 5°.0, et la mire passe entièrement en dessous du fil.

J'ai souvent fait passer la température de l'eau intérieure de 2° à 4° en chauffant avec la main la face extérieure du prisme. Dans toutes ces expériences la mire a baissé (en apparence), ce qui indique une diminution dans la force réfringente de l'eau ou dans sa densité. Il était cependant nécessaire de s'assurer que l'angle du prisme reste constant, car sans cela les mouvements de l'image pourraient provenir de cette cause. Pour cela j'ai visé pendant la nuit à une image formée par la partie solide du prisme ; j'ai tout échauffé avec la main, comme dans les expériences de jour, jusqu'à ce que l'eau, qui d'abord était à 2° au-dessus de zéro fût montée à 10°, ce qui aurait occasionné un mouvement très-sensible dans l'image formée par les rayons qui passent au travers du liquide. Ce changement de température n'a cependant entraîné

aucun mouvement dans l'image à laquelle je visais, en sorte que la couche d'huile de térébenthine, avec laquelle les prismes de verre sont collés au prisme creux, paraît se dilater également et ne pas altérer l'angle du prisme. Cette expérience nous autorisera à attribuer les déplacements de l'image à un changement dans la force réfringente de l'eau. Le prisme dont on s'est servi dans les expériences précédentes et dans celles qui vont suivre, est formé d'un prisme de verre de 30° environ qu'on a percé de part en part. Les deux ouvertures sont fermées par deux prismes de verre dont les angles sont placés en sens contraire du premier, et qui sont collés avec lui à l'aide d'une légère couche d'huile de térébenthine. On introduit le liquide et un thermomètre dans l'intérieur de l'appareil par un petit canal foré dans la face du prisme intérieur opposée à l'arête de l'angle réfringent. Il résulte de là que le prisme à travers lequel on vise est formé d'un prisme liquide de 30° et de deux prismes de verre placés en sens contraire et qui servent à achromatiser le premier, ce qui donne la facilité de pointer avec une grande exactitude.

Cela posé, il est clair qu'en partant d'une température déterminée, les mouvements de la mire résulteront de deux effets opposés, savoir du changement de déviation qu'entraîne la variation dans la densité de l'eau, et du changement contraire que tend à produire la variation correspondante de densité dans les deux prismes de verre. Dans les basses températures, ou près du maximum de contraction de l'eau, ce dernier effet peut égaler le premier, et c'est peut-être par cette raison que la mire est

presque entièrement stationnaire dans le passage de + 2° à 0°. Quoi qu'il en soit, si dans l'expérience on ne tient pas compte de l'influence des prismes de verre, on trouvera le maximum de densité à un degré trop élevé.

Série d'expériences dont la date n'est pas indiquée.

Le thermomètre du prisme marque 0°.8. La première mire est en dessus du fil. On voit un petit jour entre la seconde mire et le fil, mais l'inégalité du fil touche la mire.

On ouvre les fenêtres. Le thermomètre à l'air marque — 2°.5, celui du prisme — 1°.3. La première mire ne semble pas avoir changé de place. On voit encore le petit filet de jour entre le fil et la seconde mire.

On ferme les fenêtres; le Soleil brille, mais l'instrument est garanti. Température à l'air 1°.5, dans la prisme 0°.1. Les deux mires me paraissent être exactement à la même place.

A 2°.0 de l'air, 1°.2 dans le prisme, je ne vois pas que la mire ait changé.

A 3°.5 de l'air, 3°.0 dans le prisme, les deux mires semblent avoir baissé un peu. (Le niveau a varié de 2″ au moins; je n'ai pas fait la correction. En le rectifiant, les deux mires auraient baissé davantage.)

A 3°.5 de l'air, 3°.7 dans le prisme, les deux mires ont baissé un peu. (Le niveau est loin de sa position primitive de 4″; on n'a pas corrigé.)

A 3°.8 de l'air, 4°.0 dans le prisme, la première mire a très-sensiblement baissé; la seconde est en dessous du fil d'une épaisseur de fil. (On corrige le niveau, ce qui fait baisser les images encore davantage.)

A 4°.8 de l'air, 5°.2 dans le prisme, les deux mires ont sensiblement baissé.

On ouvre les fenêtres. Le thermomètre à l'air marque 3°.7, celui du prisme 4°.2. Les deux mires ont monté sensiblement.

Il résulte de ces expériences que, dans le passage de — 1°.3 à + 1°.2, la réfraction de l'eau ne varie pas assez sensiblement pour qu'avec un prisme de 30° on aperçoive un déplacement sensible dans l'image;

Que dans le passage de + 1°.2 à 3°.0 la mire s'abaisse autant que la réfraction diminue;

Que la réfraction diminue très-sensiblement lorsque la température s'élève de 3° à 4°,

Et qu'enfin lorsque le thermomètre du prisme passe de 4° à 5°.2, il y a encore une diminution très-sensible dans la réfraction de l'eau.

Observations du 8 décembre 1812.

Le thermomètre du prisme marque 5°.0. La mire est beaucoup en dessous du fil.

J'ouvre les fenêtres; la température baisse. Le thermomètre est à 1°.8. La mire non-seulement n'est plus en dessous, mais elle est déjà peut-être un peu en dessus.

Même jour (1ʰ après midi).

Le thermomètre du prisme marque 0° depuis assez longtemps. Je place la mire sous le fil.

Je ferme les fenêtres. Longtemps après j'ai trouvé que la température de l'eau étant 3°.0, la mire a baissé un peu.

A 4°.0 la mire est sensiblement en dessous.

Observations du 9 décembre 1812.

De 6°.7 à 5°.0 la mire a beaucoup monté (toujours en apparence).

De 4°.0 à 0°.9, elle a aussi monté sensiblement.

De 0°.9 à 3°, elle a baissé.

De 0°.9 à 4°.0, très-sensiblement baissé.

A 4°.7, la mire est presque tout à fait en dessus du fil.

La température est à 6°.0 depuis longtemps. La mire est sous le fil.

On ouvre les fenêtres. A 4°.5 la mire a bien monté.

A 4°.0, la mire est sensiblement en dessus du fil. Je la remets sous le fil.

A 2°.5, la mire a certainement monté.

A 2°.0, elle est presque tout à fait en dessus.

A 1°.0, elle est presque tout à fait en dessus.

Pour m'assurer que l'instrument ne bouge pas durant

les observations, je vise avec la lunette inférieure à une seconde mire : j'ai trouvé que ce moyen est préférable à l'emploi du niveau.

Observations du 17 janvier 1813.

Je vise au travers d'un prisme d'eau de 90° et d'un prisme de crown-glass placés en sens contraires. (L'angle réfringent du prisme est à droite.)

La température de l'eau est à 2° depuis longtemps. La mire se trouve à gauche du fil (en apparence).

Je verse de l'eau chaude à 14°. La température de l'eau du prisme après le mélange est de 4°.5. La mire est sous le fil.

J'ajoute encore un peu d'eau chaude, la température monte jusqu'à 5°.0. La mire est à droite du fil.

Même appareil.

La température initiale est de 2°.0 ou 1°.5. La mire est sous le fil.

Je verse de l'eau à 9°.5. La température du mélange se trouve à 5°.0. La mire est à droite du fil de 5/6 de minute décimale.

État initial 1°.5. La mire est sous le fil.

On verse de l'eau à 8°.5 ; la température du mélange se trouve alors à 4°.5. La mire est à droite.

Quand la température est à 5°.0 la mire est à droite de 0'.8 décimale.

Pour m'assurer que ces changements dans la position de la mire ne dépendent pas d'une variation dans l'angle du prisme, j'ai répété la même observation sur les autres angles.

Expériences faites sur l'angle de 45°.

L'angle réfringent est à gauche.

A la température initiale de 1°.8, la mire est sous le fil.

On verse de l'eau à 10°. La température du mélange est à 4°.5. La mire est à gauche (en apparence) de 0'.2 décimale.

État initial, 1°.7. La mire est sous le fil.

On verse de l'eau à 10°. La température du mélange est alors 5°.2. La mire est à gauche sensiblement.

En opérant de la même manière sur l'autre angle de 45°, j'ai toujours remarqué que dans le passage de 1° à 5° l'eau diminue de densité; car la mire marche (en apparence) dans le sens de l'angle réfringent du prisme, avec la lunette qui renverse.

Observations du 19 *janvier* 1815.

Je prends un prisme équilatéral creux; je le remplis d'eau distillée à 3°.

Je remplace l'eau distillée par de l'eau d'Arcueil à 3°.8. La réfraction a sensiblement augmenté.

Je remplace maintenant l'eau d'Arcueil par de l'eau distillée à 2°.9 : la réfraction diminue sensiblement.

A cette eau distillée je substitue de l'eau d'Arcueil à 5°.5 et je trouve que, malgré cette différence de 2°.6 dans la température, la réfraction a augmenté.

J'augmente la température de l'eau d'Arcueil jusqu'à 6°.8. La mire n'est pas encore tout à fait revenue à la place qu'elle occupait lorsque le prisme était plein d'eau distillée à 2°.6 ; mais peu s'en faut. On pourrait conclure de là que de l'eau distillée à 2°.9 réfracte comme de l'eau d'Arcueil à 8° environ.

J'abaisse la température de l'eau d'Arcueil, qui était à 5°.5, jusqu'à 2°.6, la réfraction augmente.

A de l'eau d'Arcueil à 1°.5 je substitue de l'eau aussi d'Arcueil à 5°, et la réfraction diminue.

Pour l'eau distillée de 4°.5 à 1° la réfraction augmente; de 1°.5 à 4°, elle diminue; de 5°.7 à 2°, elle augmente.

De 1° à 4°.3, la réfraction a sensiblement diminué.

Pendant cette série d'expériences, j'ai observé à la fois sur les deux angles du prisme de verre, dans lequel je plaçais le liquide, à l'aide de deux lunettes dirigées sur une mire éloignée.

LI

INFLUENCES QUI AGISSENT SUR LA RÉFRACTION DES CORPS[1]

En plaçant sur une même ligne quatre prismes de verre qui étaient comprimés entre deux mâchoires de fer, Fresnel parvint jadis à y faire naître la double réfraction et à la rendre sensible à l'œil nu. Quel changement s'était-il opéré dans la matière vitreuse? Un rapprochement des molécules dans le sens de la compression et rien de plus.

Un changement de densité analogue naît dans le verre quand on le trempe, c'est-à-dire, en d'autres termes, lorsque après l'avoir fortement échauffé on le refroidit tout à coup en le plongeant dans un liquide. Le verre trempé semble donc propre à reproduire l'appareil de Fresnel, et c'est, en effet, ce à quoi M. Guérard, docteur en médecine, est arrivé. Quatre prismes de 90° chacun, taillés dans le même sens sur une plaque de verre trempé, ont donné une double réfraction sensible. Ces prismes étaient disposés comme les quatre prismes comprimés de Fresnel, et achromatisés aussi avec d'autres prismes de verre ordinaire.

M. Guérard s'est assuré que les deux images fournies par son système sont polarisées rectangulairement et que le verre trempé possède la double réfraction négative.

1. Voir le Mémoire sur des projets d'expériences, p. 309.

LII

PHÉNOMÈNES DE POLARISATION OBSERVÉS AVEC UN PRISME DE VERRE

En examinant un prisme rectangulaire de crown-glass donné par M. Bosc avec un prisme de spath calcaire et sous des angles plus petits que ceux où la réflexion totale commence, on aperçoit sur celle des images de la seconde face qui serait la plus faible si on examinait la lumière réfléchie par un miroir de verre, une croix noire qui paraît partager la surface du prisme en deux parties égales.

D'après la figure ci-jointe (fig. 22) on devine que, sur

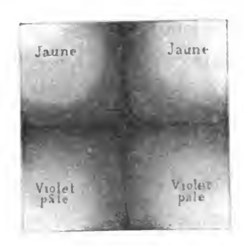


Fig. 22. — Observation avec un prisme de spath calcaire d'un rayon réfléchi par un miroir et traversant un prisme rectangulaire de crown-glass.

l'autre image, une croix blanche correspond à la croix noire ; que des lunules violettes correspondent aux taches jaunes de celle-ci, et que le violet pâle est remplacé par du jaune d'une teinte un peu vive.

En faisant tomber la lumière par l'autre angle, on

aperçoit précisément la même figure, mais elle est un peu moins régulière.

J'examine maintenant mon prisme au travers des deux faces parallèles (la lumière incidente est polarisée). L'image qui serait faible en visant seulement à la lumière polarisée présente l'aspect que montre la figure 23 ; dans l'image qui serait forte, les teintes sont complémentaires.

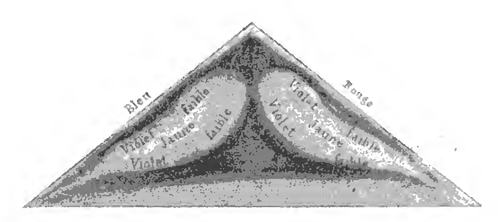


Fig. 23. — Observation avec un prisme de spath calcaire d'un rayon polarisé traversant un prisme rectangulaire de crown-glass par ses deux faces parallèles.

Après un quart de révolution du prisme, les teintes d'une image passent dans l'autre, et réciproquement; mais, et ceci est remarquable, après un demi-quart de révolution, une moitié seulement de la figure, visible dans une des images, a passé dans l'autre : bien entendu que ce qui détermine quelle portion d'une des images passe dans l'autre est le sens dans lequel on fait tourner le spath.

Un mouvement du prisme de verre produit le même résultat.

Quel que soit celui des deux côtés par lequel la lumière traverse le prisme, on aperçoit toujours le même effet.

LIII

SUR L'HYDROPHANE [1]

Une pierre changeante[2] qui pesait sèche 9 carats 2 1/2 grains ou 38.5 grains ou 1gr.978, en supposant que le carat égale 4 grains, pesait 2 grains de plus ou 0gr.103, lorsque ses pores s'étaient remplis d'eau. On a l'équation suivante :

$$\frac{i^2 - 1}{\rho} = \frac{i'^2 - 1}{\rho'};$$

d'où l'on tire $i'^2 = \frac{\rho'}{\rho}(i^2 - 1) + 1.$

La densité de la pierre, dans le premier cas, était à sa densité dans le second comme 38.5 est à 40.5, d'où il résulte :

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{405}{385} = 1.0519.$$

Supposons que l'hydrophane, dans son état ordinaire, ait une réfraction égale à celle du crown-glass, ou que l'on ait

$$i = \frac{15}{10} = 1.5,$$

on aura $i'^2 = 2.314875;$

d'où $i' = 1.521.$

Supposons que l'angle de mon prisme d'hydrophane

1. Voir le Mémoire sur des projets d'expériences, p. 310.

2. Voir *Nouveaux Mémoires de Berlin*, année 1776, t. VII, p. 166, Mémoire de M. Gerhard.

$= 13°$; soit l'angle de réfraction $= 6° 30'$, je trouve par le calcul $17' 0''$ pour la différence de déviation entre l'hydrophane sèche et l'hydrophane mouillée.

LIV

SUR LA DÉTERMINATION DES INDICES DE RÉFRACTION PAR LA MÉTHODE DES INTERFÉRENCES

[Dans son Mémoire sur la méthode des interférences appliquée à la recherche des indices de réfraction, M. Arago a invoqué (p. 329) la publication faite par Fresnel en 1822, dans le Supplément à la Chimie de Thomson, des résultats obtenus dans des expériences entreprises par les deux illustres physiciens.

Fresnel s'est exprimé en ces termes (*loc. cit.*, p. 65) :

« M. Arago a fait une expérience importante qui fournit le moyen de mesurer les plus légères différences de pouvoir réfringent des corps avec une précision presque indéfinie.

« Nous avons vu que les franges produites par deux fentes très-fines étaient toujours placées d'une manière symétrique relativement au plan mené par le point lumineux et le milieu de l'intervalle compris entre les deux fentes, tant que les deux pinceaux de lumière qui interfèrent ont traversé le même milieu, l'air, par exemple, comme cela arrive dans la disposition ordinaire de l'appareil. Mais il n'en est plus de même lorsqu'un des faisceaux n'ayant traversé que de l'air, l'autre rencontre sur son passage un corps plus réfringent, tel qu'une lame mince de mica ou une feuille de verre soufflé. Alors les

franges sont déplacées et portées du côté du faisceau qui a traversé la lame transparente ; et même, dès qu'elle a un peu d'épaisseur, elles sortent de l'espace éclairé et disparaissent. Cette expérience importante, qui est due à M. Arago, peut se faire également avec l'appareil des deux miroirs, en plaçant la lame mince dans le chemin d'un des faisceaux, avant ou après sa réflexion.

« Voyons maintenant quelle conséquence on peut déduire de ce fait remarquable, à l'aide du principe des interférences. Le milieu de la bande centrale provient toujours, comme nous l'avons déjà observé, de l'arrivée simultanée des rayons partis en même temps du point lumineux ; il faut donc, dans le cas ordinaire où ils ont traversé le même milieu, qu'ils aient parcouru des chemins exactement égaux, pour qu'ils arrivent en même temps au point de concours ; mais on conçoit que s'ils traversent des milieux dans lesquels la lumière ne se propage pas avec la même vitesse, celui des deux faisceaux qui aura marché plus lentement arrivera plus tard en ce point, qui ne pourra plus être, en conséquence, le milieu de la bande centrale. Elle doit nécessairement se rapprocher du faisceau qui a marché le plus lentement, de sorte que la moindre longueur du trajet compense le retard qu'il a éprouvé dans sa marche ; et, réciproquement, lorsque les franges sont portées à droite ou à gauche, on doit en conclure que le faisceau du côté duquel elles se sont avancées a été retardé dans sa marche. Ainsi la conséquence naturelle de l'expérience de M. Arago que nous venons de citer est que la lumière se propage plus vite dans l'air que dans le mica ou le verre, et généralement les autres corps denses

plus réfringents que l'air : résultat directement opposé à l'explication que Newton a donnée de la réfraction, en supposant les molécules lumineuses fortement attirées par les corps denses ; car il en résulterait que la vitesse de la lumière est plus grande dans ces corps que dans les milieux rares.

« Cette expérience fournit un moyen de comparer la vitesse de propagation de la lumière dans les différents milieux. En effet, supposons qu'on ait mesuré très-exactement, à l'aide d'un sphéromètre, l'épaisseur de la lame mince de verre qui a été placée sur le trajet d'un des faisceaux lumineux et qu'on ait mesuré le déplacement des franges avec le micromètre ; comme on sait qu'avant l'interposition de la lame, les chemins parcourus étaient égaux pour le milieu de la bande centrale, on pourra déterminer, par le calcul, combien ils diffèrent de longueur pour sa nouvelle position : cette différence sera le retard que la lumière a éprouvé dans la feuille de verre, dont l'épaisseur est connue. Ainsi, en ajoutant cette épaisseur à la différence calculée, on aura le petit chemin que l'autre faisceau a parcouru dans l'air tandis que le premier parcourait la feuille de verre ; et ce chemin, comparé à l'épaisseur de la feuille de verre, donnera le rapport de la vitesse de la lumière dans l'air à la vitesse de la lumière dans le verre.

« On peut encore envisager ce problème sous un autre point de vue, avec lequel il est bon de se familiariser. La durée de chaque ondulation, comme nous l'avons vu, ne dépend point de la vitesse plus ou moins grande avec laquelle l'ébranlement se propage dans le fluide, mais

seulement de la durée de l'oscillation complète qui a donné naissance à cette onde : ainsi quand les ondes lumineuses passent d'un milieu dans un autre, où elles se propagent plus lentement, chaque ondulation s'exécute toujours dans le même intervalle de temps qu'auparavant, et la plus grande densité du second milieu n'a d'autre influence que de diminuer la longueur d'ondulation dans le même rapport que celui suivant lequel il ralentit la vitesse de la lumière; car la longueur d'ondulation est égale à l'espace que le premier ébranlement parcourt pendant la durée de l'oscillation complète. On peut donc calculer les vitesses relatives de la lumière dans différents milieux, en comparant les longueurs d'ondulation d'une même espèce de rayons dans ces milieux. Cela posé, le centre de la bande centrale est produit par la réunion des rayons des deux faisceaux qui ont compté le même nombre d'ondulations, à partir du point lumineux, quelle que soit d'ailleurs la nature des milieux parcourus par ces rayons. Si donc la bande centrale se porte du côté du faisceau qui a traversé la lame de verre, c'est que les ondulations de la lumière sont plus courtes dans le verre que dans l'air et qu'il est nécessaire, en conséquence, que le chemin parcouru de ce côté soit plus court pour que le nombre des ondulations soit le même de part et d'autre. Supposons maintenant que la bande centrale se soit déplacée de vingt largeurs de franges, par exemple, c'est-à-dire de vingt fois l'intervalle compris entre les milieux de deux bandes obscures consécutives; on devra en conclure que l'interposition de la lame de verre a retardé de vingt ondulations la marche du faisceau qui l'a traversée, ou, en d'autres termes,

qu'il a exécuté dans cette lame vingt ondulations de plus que l'autre faisceau dans la même épaisseur d'air, puisque chaque largeur de frange répond à une différence d'une ondulation. Si donc on connaît l'épaisseur de cette lame et la longueur d'ondulation de la lumière qu'on a employée (qu'il est facile de déduire de la mesure des franges, par la formule que nous avons donnée), on pourra calculer le nombre d'ondulations comprises dans la même épaisseur d'air; et, en ajoutant 20 à ce nombre, on aura celui des ondulations exécutées dans l'épaisseur de la lame de verre; le rapport entre ces deux nombres donnera celui des vitesses de la lumière dans ces deux milieux. Or on le trouve égal au rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction pour le passage de la lumière de l'air dans le verre; ce qui est conforme à l'explication de la réfraction par la théorie des ondes, comme nous le verrons plus tard [1].

« Le procédé que nous venons d'indiquer présente quelques difficultés lorsqu'on veut déterminer *à priori* le pouvoir réfringent d'un corps beaucoup plus dense que l'air, tel que l'eau ou le verre, parce qu'il faut employer une lame très-mince de ces substances pour que les franges ne sortent pas tout à fait du champ commun des deux faisceaux lumineux et qu'il devient alors difficile de mesurer l'épaisseur de la lame avec l'exactitude nécessaire.

1. On peut réciproquement, par la même expérience, déterminer avec une extrême précision l'épaisseur d'une lame mince d'un corps dont on connaît le pouvoir réfringent, en la plaçant dans le trajet d'un des deux faisceaux lumineux perpendiculairement à sa direction et mesurant le déplacement des franges.

On peut, à la vérité, placer sur le trajet de l'autre faisceau une plaque épaisse d'une substance transparente dont le rapport de réfraction a été déterminé très-exactement par les moyens ordinaires, ce qui permet d'employer aussi une plaque épaisse du nouveau corps. Mais alors il devient plus simple de mesurer son pouvoir réfringent par la méthode ordinaire.

« Le cas où le procédé déduit de l'expérience de M. Arago a une grande supériorité sur la méthode directe, c'est celui où il s'agit de déterminer de légères différences de vitesse de la lumière dans des milieux qui la réfractent presque également ; car, en allongeant le trajet que la lumière parcourt dans les deux milieux dont on compare le pouvoir réfringent, on peut augmenter presque indéfiniment l'exactitude des résultats. Pour se faire une idée du haut degré de précision qu'il est possible d'atteindre par ces mesures, il suffit de remarquer que la longueur des ondulations jaunes dans l'air étant $0^{mill}.00055$, il y en a 2 millions dans une longueur de $1^{m}.10$ [1] : or il est aisé d'apercevoir une différence d'un cinquième de frange, qui répond à un retard ou à une accélération d'un cinquième d'ondulation dans la marche de la lumière ; et comme il y a deux millions de ces ondulations dans $1^{m}.10$, le cin-

1. Je prends la longueur d'ondulation des rayons jaunes, qui sont les plus brillants du spectre et dont les bandes obscures et brillantes coïncident en conséquence avec les points les moins éclairés et les plus brillants des franges produites par la lumière blanche, qu'on emploie ordinairement pour ces sortes d'expériences, tant à cause de la supériorité de son éclat que des caractères plus prononcés qu'elle donne à la bande centrale, sur laquelle il est essentiel de ne pas se méprendre.

quième d'une ondulation ne serait que la dix-millionième partie de cette longueur. On pourrait donc, en introduisant un gaz ou une vapeur quelconque dans un tube de cette longueur, fermé par deux glaces, estimer jusqu'aux dix-millionièmes de variation de leur pouvoir réfringent. C'est avec un appareil semblable que nous avons mesuré, M. Arago et moi, la différence de réfraction de l'air sec et de l'air saturé d'humidité à 30°, qui est si petite qu'elle échapperait à tout autre moyen d'observation, parce que le pouvoir réfringent plus grand de la vapeur d'eau est presque exactement compensé par la moindre densité de l'air humide. Mais, dans la plupart des cas, le plus léger mélange d'une vapeur ou d'un gaz avec un autre produit un déplacement considérable des franges ; et si l'on avait une série d'expériences de ce genre, soigneusement faites, cet appareil pourrait devenir un instrument précieux d'analyse chimique. »]

LV

SUR UN MOYEN D'AUGMENTER L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE DANS LES EXPÉRIENCES DE DIFFRACTION

[Fresnel s'exprime ainsi dans une note du Supplément à la Chimie de Thomson, p. 116 :

« M. Arago a imaginé un moyen précieux d'augmenter considérablement l'intensité de la lumière dans les expériences de diffraction, et qui peut être avantageusement appliqué à celles dont nous nous occupons. Il consiste à substituer à la petite lentille qui forme le point lumineux

une lentille dont la surface n'est courbe que dans un seul sens, et qui produit alors à son foyer une ligne lumineuse au lieu d'un point. Il faut avoir soin de tourner cette lentille cylindrique dans une direction parallèle à celle des franges, afin qu'elles aient toute la netteté possible; ce à quoi l'on parvient aisément par le tâtonnement en les regardant avec la loupe, tandis qu'une autre personne fait tourner lentement la lentille cylindrique. Les franges sont alors incomparablement plus brillantes que lorsqu'on emploie une lentille sphérique, parce que la lentille cylindrique ne fait diverger les rayons que dans un seul sens et leur conserve ainsi beaucoup plus d'intensité. »

Sur le même sujet, M. Arago a laissé la note suivante qui se rattache en outre à l'une des parties de son appareil d'interférences décrit p. 321 à 329.]

J'ai imaginé dès l'origine de nos recherches sur les phénomènes de la diffraction, d'obtenir les deux points lumineux dont les rayons interfèrent, non pas à l'aide de deux miroirs, mais avec un bi-prisme convenablement placé. Les conditions auxquelles la situation de ce bi-prisme doit satisfaire n'ont été exactement déterminées qu'après mon expérience sur l'effet d'une lame interposée dans la direction d'un des faisceaux interférents.

Pour faire des expériences de diffraction, on se contentait jadis d'introduire la lumière dans une chambre obscure par un trou d'épingle percé dans une plaque métallique très-mince. A ce procédé, on en a substitué un autre, qui présente de grands avantages. On fait tomber les rayons du Soleil réfléchis par le miroir de

l'héliostat sur une lentille dont la distance focale soit de 10 millimètres, par exemple. L'image focale a dès lors moins d'un vingtième de millimètre de diamètre. A partir de cette image, les rayons forment en divergeant un cône lumineux beaucoup plus large que celui qui résultait de l'introduction de la lumière par le trou d'épingle.

Cette modification importante dans les moyens d'expérimentation, surtout dans ceux qui sont relatifs à la diffraction et autres phénomènes analogues, m'appartient, ainsi que Fresnel le reconnaît dans le Supplément à la Chimie de Thompson, page 10.

Dans ma Note sur l'effet d'une lame interposée dans la direction d'un faisceau interférent[1], j'ai montré que les bandes intérieures se déplacent lorsque l'un des faisceaux qui les forment par leur interférence a traversé une lame de verre. Le déplacement est proportionnel à l'épaisseur de la lame interposée. Il a lieu toujours du côté où la lame est placée, ce qui implique la conséquence que la lumière se meut moins vite dans le verre que dans l'air.

Comment se fait-il qu'en reproduisant une expérience équivalente en 1831, M. Airy ait cru pouvoir se dispenser de citer la Note de M. Arago qui avait été publiée quinze ans auparavant?

M. Airy s'est servi, il est vrai, d'une lame qu'il inclinait plus ou moins aux rayons qui la traversaient; mais ce moyen était déjà appliqué dans des instruments en vente chez nos opticiens pour ramener les bandes à leur position primitive lorsque l'un des faisceaux interférents

1. Voir le t. IV des *Notices scientifiques*, t. VII des *OEuvres*, p. 99 et 432.

avait traversé une couche d'air moins dense que celle à travers laquelle l'autre faisceau s'était propagé

Pour lever les doutes qu'on aurait pu concevoir sur l'influence qui serait due au déplacement du point lumineux dépendant de l'inclinaison de la lame de verre, j'avais fait construire un compensateur composé de deux lames mobiles en sens opposé, et qui dès lors laissait le point lumineux parfaitement immobile.

FIN DU TOME PREMIER DES MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

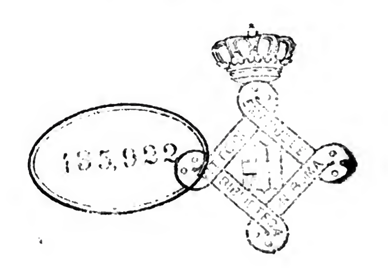


TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIXIÈME

TOME PREMIER DES MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

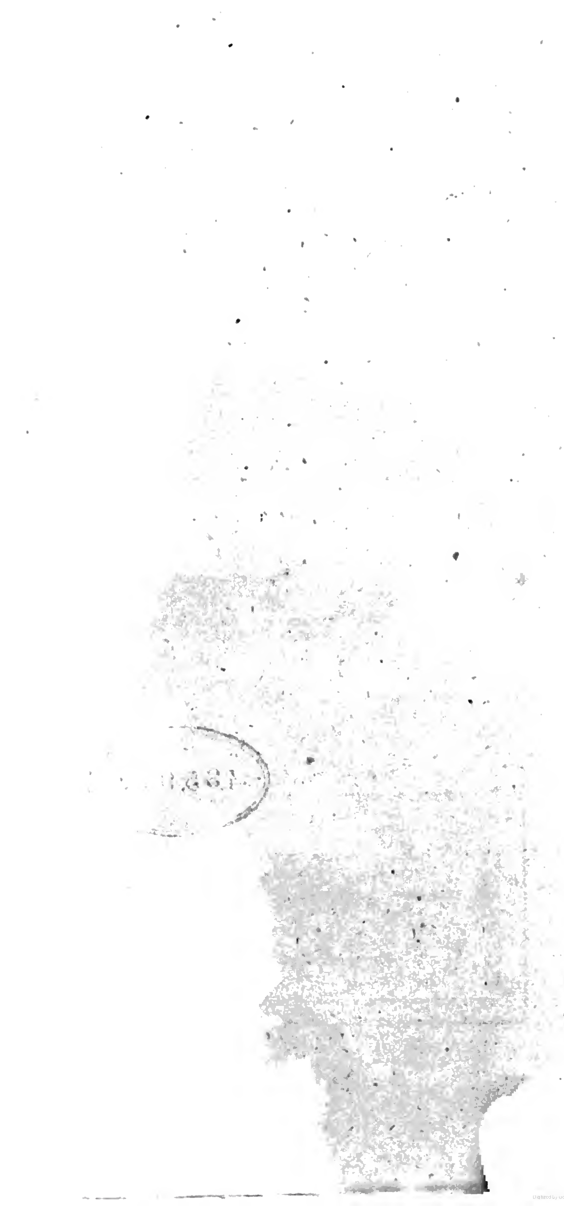
APPENDICE

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

TABLE DES FIGURES

FIN DE LA TABLE DES FIGURES

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7.



LISTE DES OUVRAGES DE FRANÇOIS ARAGO

ASTRONOMIE POPULAIRE, 4 volumes contenant :

Tome Ier : Notions de géométrie, de mécanique, d'horlogerie, d'optique; histoire des instruments astronomiques; visibilité des astres; mouvement diurne; mouvement apparent du Soleil; les constellations; les étoiles simples; les étoiles multiples; les nébuleuses.

Tome II : La Voie lactée; mouvements propres des étoiles et translation du système solaire; le Soleil; lumière zodiacale; mouvements des planètes; les comètes; Mercure; Vénus.

Tome III : La Terre; la Lune; éclipses et occultations.

Tome IV : Attraction universelle; Mars; petites planètes comprises entre Mars et Jupiter; météores cosmiques; Jupiter; vitesse de la lumière et aberration; Saturne; Uranus; Neptune; saisons et climats; le calendrier; mélanges uranographiques. — Table analytique des matières.

Ces quatre volumes sont accompagnés de 362 figures, dont 80 gravées sur acier, et 282 gravées sur bois.

NOTICES BIOGRAPHIQUES, 3 volumes en vente, contenant :

Tome I : Introduction, par ALEXANDRE DE HUMBOLDT; Histoire de ma jeunesse; Fresnel, Volta, Young, Fourier, Watt, Carnot.

Tome II : Ampère, Condorcet, Bailly, Monge, Poisson.

Tome III : Gay-Lussac, Malus; — Hipparque, Ptolémée, Al-Mamoun, Albategnius, Aboul-Wéfâ, Ebn-Jounis, Alphonse X, Régiomontanus, Copernic, Tycho-Brahé, Guillaume IV (landgrave de Hesse), Kepler, Galilée, Descartes, Hévelius, l'abbé Picard, J.-D. Cassini, Huygens, Newton, Rœmer, Flamsteed, Halley, Bradley, Dollond, Lacaille, Herschel, Brinkley, Gambart, Laplace; — Fermat, Abel, Lislet-Geoffroy; — Molière; — Discours funéraires; Utilité des pensions aux savants.

NOTICES SCIENTIFIQUES, 5 volumes, dont 4 sont en vente :

Tome I : Le tonnerre; électro-magnétisme; électricité animale; magnétisme terrestre; aurores boréales.

Tome II : Machines à vapeur; chemins de fer; télégraphes; chaux et mortiers hydrauliques; navigation.

Tome III : Phares; fortifications; puits forés; filtration et élévation des eaux; sur divers établissements publics; libre échange et protection; sur les brevets d'invention.

Tome IV : Scintillation; constitution physique du Soleil et des étoiles; éclipses; polarisation; impulsion des rayons solaires; daguerréotype; phosphorescence; action calorifique et action chimique de la lumière; vitesse de la lumière; théories de l'émission et des ondes.

Le tome V est consacré aux notices sur la météorologie.

INSTRUCTIONS, RAPPORTS ET NOTICES SUR LES QUESTIONS A RÉSOUDRE PENDANT LES VOYAGES SCIENTIFIQUES, 1 volume en vente :

Questions à résoudre pendant les voyages; — voyages de *l'Uranie*, de *la Coquille*, de *la Chevrette*, de *la Bonite*, de *la Vénus*; — tableaux des régions arctiques, d'une partie de l'Abyssinie et de l'intérieur de l'Afrique, des terres australes; — sur les voyages aéronautiques; — phénomènes de la mer.

MÉMOIRES SCIENTIFIQUES, 2 volumes, dont 1 est en vente :

Tome I : Couleurs des lames minces; polarisation colorée; phénomènes de la polarisation de la lumière; nouveaux phénomènes d'optique; puissances réfractives et dispersives; action des rayons de lumière polarisés; loi du carré du cosinus; photométrie; projets d'expériences; interférences; indices de réfraction; etc.

MÉLANGES, RAPPORTS, POLÉMIQUE, TABLE GÉNÉRALE, 1 volume.

Seize volumes in-8° de 600 pages environ.

Chaque volume se vend séparément, 7 fr. 50.

IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7.


A.to VOLPARI
ROMA

